Șt. Drăgan

# *Exploatarea și întreținerea transformatoarelor de măsură*

colecția electricianului

*editura tehnică*

Ing. Ştefan Drăgan

# *Exploatarea şi întreţinerea transformatoarelor de măsură*

Editura tehnică
București — 1969

Lucrarea prezintă, la un nivel accesibil, problemele legate de construcția, funcționarea și exploatarea transformatoarelor de curent și de tensiune folosite în schemele de măsură, protecție și automatizare. Sînt indicate metodele cele mai eficiente din punct de vedere tehnic și economic pentru verificarea și încercarea transformatoarelor, în vederea realizării și menținerii unor caracteristici tehnice corespunzătoare și a exploatării în condiții bune a instalațiilor.

Cartea se adresează electricienilor, maiștrilor și tehnicienilor care lucrează în instalațiile electrice ale întreprinderilor de electricitate, ale secțiilor PRAM, ale întreprinderilor industriale, ale șantierelor etc.

Control științific: ing. **MIRCEA SUPP**
Redactor: ing. **MARCEL CROITORU**
Tehnoredactor: **MARIA IONESCU**
Coperta: arh. **VALENTIN VIȘAN**

# 1. Principiile de funcţionare ale transformatoarelor de măsură

## 1.1. Bazele teoretice ale funcţionării transformatoarelor de măsură

Transformatorul de măsură este un aparat electromagnetic static, care transformă parametrii energiei în curent alternativ (tensiunea respectiv curentul), reducînd valoarea acestora de un anumit număr de ori. Funcţionarea transformatoarelor de măsură se bazează pe inducţia electromagnetică dintre două circuite (înfăşurări)

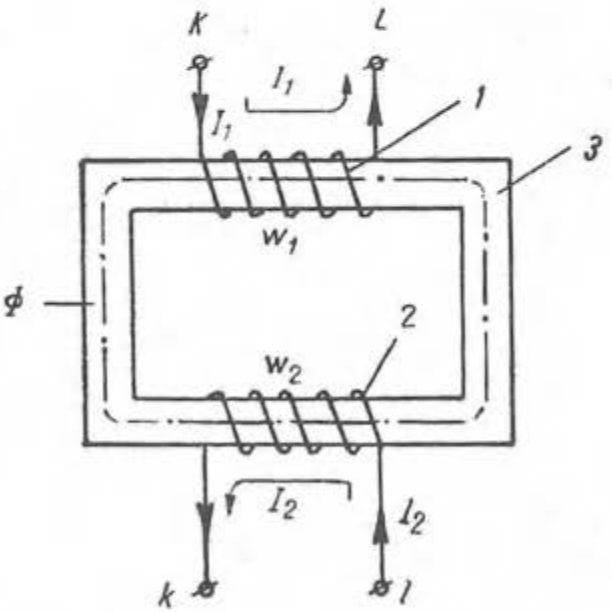



Fig. 1.1. Principiul de funcţionare al transformatorului de măsură:
*1* — înfăşurarea primară;
*2* — înfăşurarea secundară;
*3* — miezul de fier.

electrice, cuplate electromagnetic. Curentul alternativ $I_1$ ce parcurge înfăşurarea primară *1* din fig. 1.1 creează un flux alternativ $\Phi$ care, în cea mai mare parte, se închide prin circuitul magnetic *3*, construit din tole de oţel electro-

tehnic. Fluxul alternativ $\Phi$ întretaie spirele înfășurării secundare *2* și induce în acestea o tensiune electromotoare alternativă $e_2$, a cărei valoare instantanee se exprimă matematic prin relația

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt}. \tag{1.1}$$

Relația ne arată că valoarea instantanee a tensiunii electromotoare (t.e.m.) $e_2$ induse în înfășurarea secundară *2* este egală cu produsul dintre numărul de spire $w_2$ ale înfășurării secundare și viteza cu care variază fluxul magnetic în timp ($d\Phi/dt$), luată cu semn schimbat. Valoarea efectivă a t.e.m. induse (exprimată în volți) se determină cu relația

$$E_2 = 4{,}44\, f w_2 \Phi, \tag{1.2}$$

în care:

$f$ este frecvența tensiunii de alimentare, în Hz;
$w_2$ — numărul de spire ale înfășurării secundare;
$\Phi$ — valoarea efectivă a fluxului magnetic, în Wb.

Dacă circuitul înfășurării secundare este conectat la receptoare exterioare (care în cazul transformatoarelor de măsură sînt aparatele de măsurat, releele etc.), în circuit apare un curent. Valoarea sarcinii determină încărcarea secundară a transformatoarelor, care se poate exprima prin produsul dintre curentul secundar $I_2$ și tensiunea secundară $U_2$.

## 1.2. Rolul transformatoarelor de măsură și domeniul lor de utilizare

Transformatoarele de măsură au rolul de a transforma tensiunea, respectiv curentul, dintr-o instalație electrică (în mod obișnuit micșorînd valoarea acestora), în scopul:

— lărgirii domeniului de măsurare al unei serii de aparate de măsurat, de curent alternativ;

— alimentării circuitelor de protecție prin relee cu tensiuni, respectiv cu curenți, într-un anumit raport față de cele din circuitele primare, în vederea obținerii unor mă-

rimi secundare normale (de exemplu 1 A sau 5 A şi tensiunea de 100 V);

— protejării instalaţiilor circuitelor secundare, a releelor şi a aparatelor de măsurat, împotriva străpungerii izolaţiei acestora de către tensiunea înaltă a instalaţiilor primare;

— protejării personalului de exploatare împotriva electrocutării, atunci cînd vine în contact cu instalaţiile de măsurare şi protecţie.

Protejarea personalului de exploatare şi a circuitelor secundare faţă de tensiunea înaltă a circuitelor primare se realizează atît prin izolaţia înfăşurării secundare a transformatoarelor de măsură faţă de înfăşurarea primară, cît şi prin legarea la pămînt a uneia dintre bornele înfăşurării secundare.

Transformatoarele de măsură se utilizează pentru scopurile arătate mai sus, atît în instalaţiile electroenergetice de înaltă tensiune, cît şi în cele de joasă tensiune (în acestea din urmă se folosesc mai ales transformatoarele de curent). În unele cazuri transformatoarele de măsură pot înlocui transformatoarele pentru încercări de laborator. Domeniul de utilizare al transformatoarelor de măsură şi condiţiile ce li se impun în ceea ce priveşte clasa de precizie rezultă din tabelul 5.11.

### 1.3. Clasificarea transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură se clasifică după mai multe criterii.

1. În funcţie de parametrul a cărui valoare o reduc, există:

— transformatoare de curent, simbol TC, a căror înfăşurare primară se conectează în serie cu circuitul primar, iar bobinajul secundar alimentează releele de curent, ampermetrele, bobinele de curent ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc. (fig. 1.2).

— transformatoare de tensiune, simbol TT, a căror înfăşurare primară se conectează în paralel cu circuitul primar, iar înfăşurarea secundară alimentează releele de ten-

siune, voltmetrele, bobinele de tensiune ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc. (fig. 1.2).

2. În funcție de numărul de faze, transformatoarele de măsură pot fi:

monofazate (de curent și de tensiune); bifazate (de tensiune) sau trifazate (de tensiune).

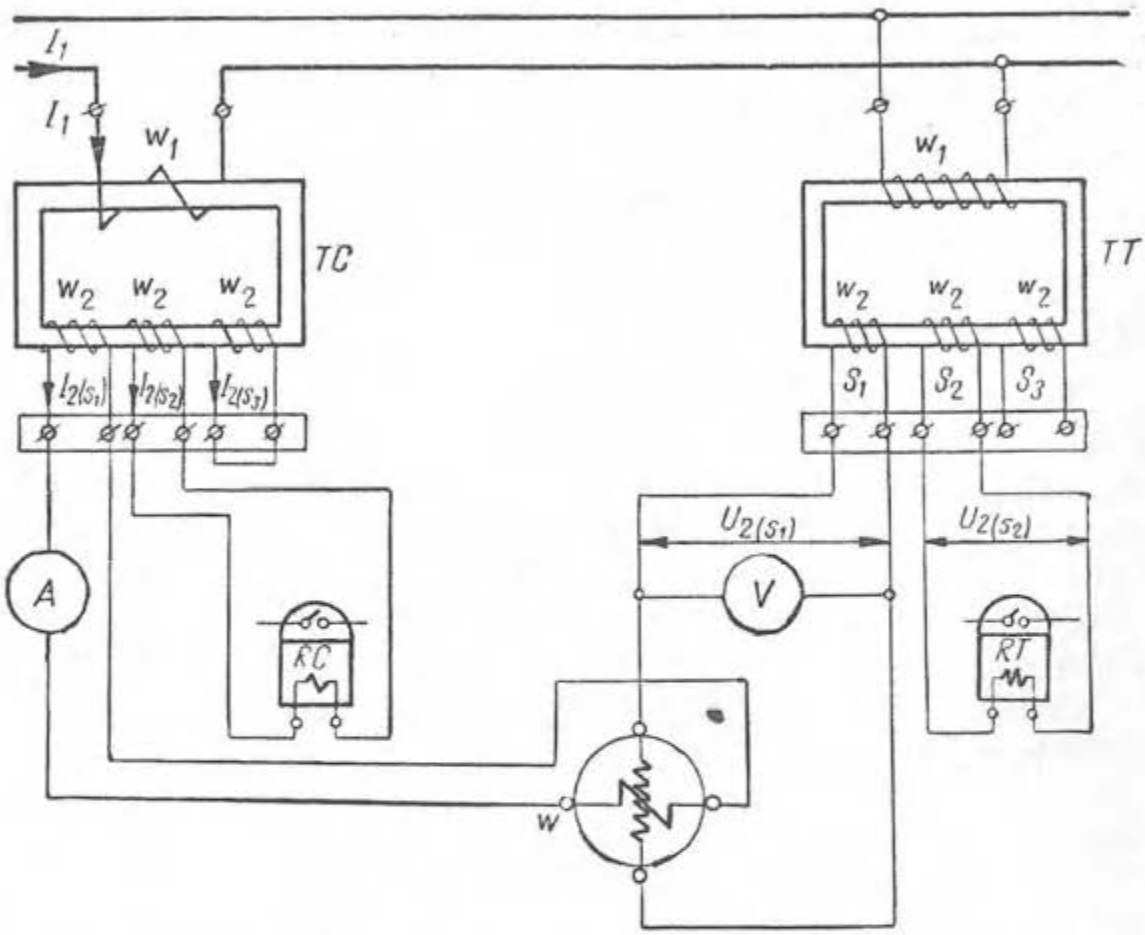



Fig. 1.2. Schema de conectare a transformatoarelor de măsură și modul de alimentare al aparatelor:

*TC* — transformator de curent; *TT* — transformator de tensiune; $W_1$ — înfășurarea primară; $W_2(S_1, S_2, S_3)$ — înfășurări secundare; *A* — ampermetru; *RC* — releu de curent; *V* — voltmetru; *RT* — releu de tensiune; *W* — wattmetru.

3. După numărul înfășurărilor secundare, transformatoarele de măsură pot fi:

— cu o singură înfășurare secundară;

— cu două sau cu mai multe înfășurări secundare.

4. După felul instalației în care sînt destinate a se monta și a funcționa, există:

— transformatoare de tip interior (simbol I);

— transformatoare de tip exterior (simbol E);

— transformatoare pentru instalații complexe (ce se montează în transformatoare de putere sau în întreruptoare).

5. După modul în care se instalează, deosebim:

— transformatoare de trecere, simbol T (numai pentru cele de curent);

— transformatoare tip suport (simbol S).

6. După felul izolației dintre înfășurarea primară și cea secundară, deosebim:

— transformatoare cu aer sau uscate;

— transformatoare cu izolație în ulei (simbol U);

— transformatoare cu izolație de porțelan (simbol P);

— transformatoare cu izolație de rășini sintetice de turnare (simbol R).

7. În funcție de caracteristicile tehnice nominale (v. § 1.4.1 și 1.4.2).

8. În funcție de tensiunea înfășurării primare, deosebim:

— transformatoare de înaltă tensiune;

— transformatoare de joasă tensiune;

— transformatoare de tensiune în cascadă (utilizate în instalațiile de foarte înaltă tensiune (de la 220 kV în sus).

9. În funcție de destinație, deosebim:

— transformatoare montate în instalații electrice;

— transformatoare de laborator;

— transformatoare portative;

— transformatoare montate în scheme speciale.

## 1.4. **Caracteristicile transformatoarelor de măsură**

### 1.4.1. *Caracteristicile transformatoarelor de tensiune*

Caracteristicile tehnice principale ale transformatoarelor de tensiune, prevăzute de STAS 4324-62 și STAS 4323-62, sînt următoarele:

— tensiunea nominală primară $U_{1n}$;

— tensiunea nominală secundară $U_{2n}$;

— tensiunea maximă de lucru $U_{max}$, adică valoarea efectivă cea mai mare a tensiunii, în condiții normale de ex-

ploatare, la care transformatorul de tensiune poate funcţiona în regim de lucru de lungă durată;

— tensiunea de încercare $U_i$, adică valoarea tensiunii de frecvenţă industrială sau de impuls la care se încearcă transformatorul de tensiune;

— raporturile de transformare, nominal $k_n$ şi efectiv sau real $k_e$;

— eroarea de tensiune $\Delta_u$ şi de unghi $\delta_u$;

— clasa de precizie;

— puterea nominală $P_{2n}$ şi puterea nominală maximă $P_{max}$;

— frecvenţa nominală, adică frecvenţa tensiunii de alimentare pentru care este destinat a funcţiona transformatorul şi la care sînt îndeplinite condiţiile clasei de precizie.

### 1.4.2. *Caracteristicile transformatoarelor de curent*

Caracteristicile tehnice principale ale transformatoarelor de curent sînt următoarele:

— curentul nominal primar $I_{1n}$ şi curentul nominal secundar $I_{2n}$;

— tensiunea nominală $U_n$, în kV, egală cu tensiunea nominală a reţelei electrice pentru care este dimensionat şi construit transformatorul, care este înscrisă pe plăcuţa lui indicatoare;

— tensiunea maximă de lucru sau de serviciu $U_{max}$;

— tensiunea de încercare $U_i$, sinusoidală, cu frecvenţa de 50 Hz;

— raporturile de transformare, nominal $k_n$ şi efectiv sau real $k_e$;

— curentul limită dinamic $I_d$, care reprezintă valoarea de vîrf, în kA, a primei alternanţe a curentului primar de scurtcircuit (curentul de şoc) pentru care stabilitatea dinamică a transformatorului este asigurată (fără a se deteriora sub acţiunea forţelor electrodinamice), înfăşurarea secundară a acestuia fiind scurtcircuitată;

— curentul limită termic $I_t$, în kA, care reprezintă valoarea efectivă cea mai mare a curentului primar de scurtcircuit, pe care transformatorul de curent, avînd înfăşu-

rările secundare scurtcircuitate, îl poate suporta timp de o secundă, fără a depăși limita de încălzire;

— eroarea de curent $\Delta_i$ și de unghi $\delta_i$;

— clasa de precizie;

— sarcina secundară $Z_2$ și sarcina nominală secundară $Z_{2n}$;

— puterea nominală $P_n$, în VA;

— curentul de magnetizare $I_0$;

— curentul nominal primar de saturație $I_{1sn}$, curentul nominal secundar de saturație $I_{2sn}$ și coeficientul de saturație $n$.

Definițiile caracteristicilor enumerate sînt precizate în lucrare la capitolele respective.

## 1.5. Comportarea transformatoarelor de măsură în diferite regimuri de funcționare ale sistemului electroenergetic

Funcționarea corectă a instalațiilor de protecție și a celor de măsurare este determinată și de gradul de exactitate cu care transformatoarele de măsură pot reproduce în secundar tensiunea, respectiv curentul rețelei în care sînt montate. În regim normal de funcționare al sistemului, cînd parametrii rețelei au valori în jurul parametrilor nominali ai transformatoarelor de măsură, acestea reproduc în înfășurările secundare parametrii primari, cu o exactitate determinată de clasa lor de precizie. Prin urmare, aparatele de măsurat și releele de protecție vor fi alimentate cu un curent, respectiv cu o tensiune secundară, proporționale (în limitele clasei de precizie a transformatoarelor de măsură) cu curentul, respectiv cu tensiunea din primar. Unele regimuri anormale de funcționare, cum sînt regimurile tranzitorii, scurtcircuitele asimetrice etc., care apar în exploatarea sistemelor electroenergetice, fac ca transformatoarele de măsură să nu mai reproducă cu fidelitate valorile mărimilor primare, datorită unor fenomene relativ complexe ce au loc în timpul acestor regimuri. Acest lucru influențează în special funcționarea protecțiilor, care au rolul de a sesiza cît mai real și mai

rapid regimurile anormale, pentru a acționa în consecință. Privită problema din acest punct de vedere, în ultimii ani s-au efectuat și sînt în curs o serie de studii, cercetări și experimentări asupra modului de comportare a transformatoarelor de măsură în timpul regimurilor tranzitorii. Toate acestea se efectuează în scopul stabilirii unor metode de calcul și de dimensionare a transformatoarelor de măsură, metode care să țină cont de particularitățile de funcționare ale acestora în regimurile tranzitorii și pe baza cărora transformatoarele să se construiască de așa manieră încît ele să asigure corecta alimentare a instalațiilor de protecție. De asemenea, se urmărește stabilirea unor metode de măsurare a erorii transformatoarelor de măsură în condițiile funcționării lor în regimuri tranzitorii, metode care să reproducă cît mai exact condițiile reale ce se întîlnesc în exploatare. Bineînțeles că în acest sens nu s-au epuizat toate posibilitățile și urmează ca cercetările ce se efectuează să contribuie la rezolvarea în continuare a problemelor amintite.

## 1.6. **Alegerea transformatoarelor de măsură**

Siguranța în funcționare a transformatoarelor de măsură este determinată de alegerea corectă a acestora, atît din punctul de vedere al regimului normal de funcționare, cît și din punctul de vedere al regimurilor de avarie ale rețelei în care sînt montate. Principial, alegerea transformatoarelor de măsură se face comparîndu-se parametrii determinați prin calcul cu cei din cataloagele de aparate. Se vor alege acelea ale căror caracteristici constructive corespund acoperitor cu toți parametrii calculați.

### 1.6.1. *Alegerea transformatoarelor de tensiune*

Transformatoarele de tensiune nu se verifică la stabilitate termică și electrodinamică, întrucît ele sînt conectate în paralel la rețea, astfel încît în cazul unui scurtcircuit în acestea, ele nu sînt supuse acțiunii curentului de scurtcircuit. Alegerea transformatoarelor de tensiune se

face în baza verificării următoarelor caracteristici ale acestora:

— tensiunea nominală primară a transformatorului de tensiune $U_{1n}$, ce trebuie să fie egală cu tensiunea nominală a rețelei la care se conectează (între faze, respectiv pe fază);

— tensiunea nominală secundară a transformatorului de tensiune $U_{2n}$, ce trebuie să fie egală cu tensiunea nominală a aparatelor pe care le alimentează;

— tipul transformatorului de tensiune și schema sa de conexiune, care se aleg în funcție de destinația lui (de exemplu, pentru alimentarea contoarelor și a wattmetrelor trifazate se pot utiliza transformatoare de tensiune monofazate legate în V, iar pentru alimentarea aparatelor destinate controlului izolației se utilizează trei transformatoare monofazate legate în stea sau un transformator cu cinci coloane, cu aceeași schemă de conexiuni);

— clasa de precizie a transformatorului de tensiune, care trebuie să corespundă clasei de precizie a aparatelor pe care le alimentează (conform tabelului 5.11); dacă transformatorul alimentează mai multe aparate cu clase de precizie diferite, clasa de precizie a transformatorului trebuie să corespundă aparatelor cu clasa de precizie cea mai bună;

— puterea nominală a transformatorului de tensiune $P_{2n}$, corespunzătoare preciziei ce trebuie aleasă, se compară cu puterea $P_2$ absorbită de toate aparatele de măsurat și releele conectate la bornele secundare ale transformatorului; se consideră că transformatorul de tensiune s-a ales corect din punctul de vedere al puterii nominale, dacă este îndeplinită condiția $P_{2n} > P_2$.

### 1.6.2. *Alegerea transformatoarelor de curent*

Se consideră că un transformator de curent s-a ales corect, dacă sînt respectate condițiile de alegere și verificare indicate în tabelul 1.1.

Metodologia de verificare a erorilor în condițiile reale de funcționare ale transformatoarelor de curent utilizate pentru protecții (tabelul 1.1) constă în următoarele:

*Tabelul 1.1*

**Alegerea şi verificarea transformatoarelor de curent**

| Regimul de funcţionare al reţelei | Parametrii de verificat | | Condiţii de alegere şi verificare |
|---|---|---|---|
| | Ai transformatorului de curent | Ai reţelei în care se montează transformatoarele de curent sau ai circuitelor secundare alimentate de acestea | |
| Regimul normal de functionare | Tensiunea nominală $U_n$, în kV | Tensiunea nominală a reţelelor $U_{nr}$, în kV | $U_n \geqslant U_{nr}$ |
| | Curentul nominal primar $I_{1n}$, în A | Curentul de sarcină de lungă durată a reţelei $I_{sr}$, în A | $I_{1n} \geqslant I_{sr}$ |
| | Curentul nominal secundar $I_{2n}$, în A | Curentul nominal al aparatelor conectate la bornele secundare ale transformatorului $I_{nap}$—5A sau 1A | $I_{2n} = I_{n\,ap}$ |
| | Sarcina secundară nominală $Z_{2n}$, în Ω (calculată din puterea secundară $P_{2n}$) | Sarcina $Z_2$, în Ω (impedanţa reală a circuitului exterior conectat la bornele secundare) | $Z_{2n} \geqslant Z_2$ |
| | Puterea nominală secundară $P_{2n} = Z_{2n}\ I_{2n}$, în VA | Puterea nominală absorbită de toate aparatele conectate la bornele secundare ale transformatorului de curent $P_{n\,ap}$, în VA | $P_{2n} \geqslant P_{n\,ap}$ |
| | Erorile de curent, în %, şi de unghi, în min | Conform indicaţiilor din tabelul 5.11 | Conform tabelului 5.11 |

*Tabelul 1.1* (continuare)

| Regimul de funcționare al rețelei | Parametrii de verificat | | Condiții de alegere și verificare |
|---|---|---|---|
| | Ai transformatorului de curent | Ai rețelei în care se montează transformatoarele de curent sau ai circuitelor secundare alimentate de acestea | |
| Regimul normal de funcționare | Coeficientul de saturație $n$ | — | Conform precizărilor din subcap. 5.10 |
| Regim de scurtcircuit în instalație | Curentul de stabilitate termică al transformatorului $I_t$, în kA | Curentul efectiv de scurtcircuit de șoc maxim ce trece prin transformator ($I_{soc}$, în kA) | $I_t > I_{soc}$ |
| | Curentul de stabilitate dinamică $I_d$, în kA | Amplitudinea curentului de scurtcircuit de șoc $I_{soc}$ | $I_d > I_{soc}$ |
| | Eroarea de curent, în % (pentru protecție) | — | $\Delta_i \leqslant 10\%$ |
| | Eroarea de unghi, în min (pentru protecție) | — | $\delta_i \leqslant 7'$ |

— se calculează sarcina secundară $Z_2$ conform § 5.13 (tabelul 5.22);

— în funcție de sarcina $Z_2$, se ia din curbele erorilor de 10% ale transformatorului de curent (care reprezintă variația raportului $I_1/I_{1n}$ în funcție de sarcina secundară $Z_2$

*Tabelul 1.2*

**Calculul curentului de defect [3]**

| Relaţia de calcul al curentului de defect $I_{1\,def}$ | Felul protecţiei | Semnificaţia notaţiilor şi valoarea lor |
|---|---|---|
| $I_{1\ def} = \frac{(1{,}1..1{,}2) I_{2p} k_n}{k_{rev}\, k_{sch}}$ | — Maximală rapidă (secţionare de curent)<br>— Maximală cu temporizare independentă<br>— Maximală cu temporizare dependentă (valoarea lui $I_{2_p}$ este cea corespunzătoare caracteristicii reglate a protecţiei) | $I_{2_p}$ este curentul de pornire al releului<br>$k_n$ — raportul de transformare al transformatorului de curent<br>$k_{sch}$ — coeficientul de schemă, a cărui valoare se ia din tabelul 5.22<br>$k_{rev}$=0,85 |
| $I_{1\ def} = k I_{\ sc\ max}$ | — Protecţii direcţionale<br>— Protecţii diferenţiale<br>— Protecţii de distanţă | $I_{sc\ max}$ este curentul maxim de scurtcircuit<br>$k$ — coeficientul de corecţie, care ţine cont de saturaţia transformatoarelor de curent în regim tranzitoriu ($k$=1, pentru temporizări ale protecţiei t=1s; $k$=1,5, pentru $t$=0,3s; $k$=2, pentru $t$=0,1s) |

pentru care eroarea de curent este mai mică de 10%) valoarea coeficientului de multiplicitate maxim admis, dată de relația

$$m_a = \frac{I_{1max}}{I_{1n}}; \tag{1.3}$$

— se calculează raportul real dintre curentul primar de defect $I_{1def}$ și curentul nominal $I_{1n}$, cu relația $m_r = \frac{I_{1def}}{I_{1n}}$; valoarea curentului de defect se calculează cu relațiile din tabelul 1.2, în funcție de felul protecției și al schemei de conexiuni a transformatoarelor;

— se compară coeficientul de multiplicitate admis $m_a$ cu raportul real dintre curentul de defect și cel nominal $m_r$; se consideră că transformatorul de curent este bine ales dacă este îndeplinită condiția $m_a \geqslant m_r$; în caz contrar, este necesar să se aleagă un transformator de curent cu $I_{1n}$ mai mare sau se iau măsuri de reducere a valorii $Z_2$, prin mărirea secțiunii conductoarelor de legătură.

# 2. Tipurile constructive și schemele electrice interioare ale transformatoarelor de măsură

## 2.1. Transformatoare de fabricație românească

Industria electrotehnică românească produce transformatoare de măsură pentru instalații electrice avînd tensiunea nominală cuprinsă între 0,5 și 220 kV (între faze).

### 2.1.1. *Transformatoare de tensiune*

În tabelul 2.1 sînt indicate tipurile constructive de transformatoare de tensiune produse de Uzinele Electroputere din Craiova.

*Tabelul 2.1*

**Tipuri de transformatoare de tensiune fabricate de Uzinele Electroputere Craiova**

| Denumirea transformatorului de tensiune | Tipul | Caracteristici tehnice principale ale variantelor fabricate | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Raportul de transformare kV/kV | Tensiunea maximă de lucru kV | Tensiunea de încercare kV | Puterea nominală $P_{2n}$, în VA | | | Puterea maximă VA |
| | | | | | Clasa 0,5 | Clasa 1 | Clasa 3 (*D*) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare | TIRM-0,5 | 0.38/0,1<br>0,4/0,1<br>0,5/0,1 | 0,46<br>0,48<br>0,60 | 3<br>3<br>3 | 15<br>30<br>30 | 30<br>60<br>60 | 60<br>90<br>90 | 120<br>180<br>180 |
| Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare | TIRM-6 | $\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $6/\sqrt{3}$ | 27 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| | | $\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $7,2/\sqrt{3}$ | 27 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| | TIRM-10 | $\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $12/\sqrt{3}$ | 35 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| | TIRM-15 | $\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $17,5/\sqrt{3}$ | 45 | 90 | 180 | 300 | 600 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din ulei | TIBU-6 | 3/0,1 | 3,6 | | 30 | 50 | 120 | 240 |
| | | 5/0,1 | 6,0 | | 50 | 80 | 200 | 400 |
| | | 6/0,1 | 7,2 | 27 | 50 | 80 | 200 | 400 |
| | TIBU-10 | 10/0,1 | 12,0 | 35 | 80 | 150 | 320 | 640 |
| | TIBU-15 | 15/0,1 | 17,5 | 45 | 80 | 150 | 320 | 640 |
| Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare | TIRB-6 | 5/0,1 | 6,0 | | 60 | 120 | 240 | 480 |
| | | 6/0,1 | 7,2 | 27 | 60 | 120 | 240 | 480 |
| | TIRB-10 | 10/0,1 | 12,0 | 35 | 90 | 180 | 300 | 600 |
| | TIRB-15 | 15/0,1 | 17,5 | 45 | 90 | 180 | 300 | 600 |
| Transformator de tensiune trifazat, pentru montaj interior, cu izolația din ulei (cu cinci coloane). Punct neutru izolat de masă pentru tensiunea de 2kV | TITU-6<br>TITU-10<br>TITU-15 | $\frac{3}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $3,6/\sqrt{3}$ | | 50 | 80 | 200 | 400 |
| | | $\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $6/\sqrt{3}$ | | 80 | 150 | 320 | 640 |
| | | $\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $7,2/\sqrt{3}$ | 27 | 80 | 150 | 320 | 640 |
| | | $\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $12/\sqrt{3}$ | 35 | 120 | 200 | 480 | 960 |
| | | $\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $17,5/\sqrt{3}$ | 45 | 120 | 200 | 480 | 960 |

*Tabelul 2.1* (continuare)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare | TIRM-20 | $\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $24/\sqrt{3}$ | 55 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| | TIRM-25 | $\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $30/\sqrt{3}$ | 65 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| | TIRM-35 | $\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $42/\sqrt{3}$ | 85 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare | TIRB-20 | 20/0,1 | 24 | 55 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| | TIRB-25 | 25/0,1 | 30 | 65 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| | TIRB-35 | 35/0,1 | 42 | 85 | 120 | 240 | 480 | 960 |
| Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj exterior, cu izolație din ulei. | TEMU-20 | $\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $24/\sqrt{3}$ | 55 | 90 | 180 | 300 | 600 |
| | TEMU-25 | $\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $30/\sqrt{3}$ | 65 | 90 | 180 | 300 | 600 |
| | TEMU-35 | $\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ | $42/\sqrt{3}$ | 85 | 90 | 180 | 300 | 600 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj exterior, cu izolația din ulei (de tip inductiv) | TEBU-20 | 20/0,1 | 24 | 55 | 90 | 180 | 300 | 600 | 600 |
| | TEBU-25 | 25/0,1 | 30 | 65 | 90 | 180 | 300 | 600 | 600 |
| | TEBU-35 | 35/0,1 | 42 | 85 | 90 | 180 | 300 | 600 | 600 |
| Transformator de tensiune monofazat, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior (tip inductiv cu un singur circuit magnetic) | TEMU-110 | $\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / 0,1$ | $123/\sqrt{3}$ | 185 | 300 | 600 | 900 | 1800 | |

Schemele electrice interioare ale transformatoarelor de tensiune sînt foarte simple și sînt reprezentate în fig. 2.1, unde $AX$ reprezintă înfășurarea primară, iar $ax$ și $a_1x_1$, înfășurările secundare. Pentru o ușoară identificare a înfășurărilor, aceste notații sînt marcate și pe bornele transformatoarelor.




Fig. 2.1. Reprezentarea schemei electrice interioare a transformatorului de tensiune.

## 2.1.2. *Transformatoare de curent*

Tipurile de transformatoare de curent și caracteristicile lor sînt indicate în tabelul 2.2. Schemele electrice interioare ale transformatoa-

*Tabelul 2.2*

**Tipuri de transformatoare de curent fabricate de Uzinele Electroputere Craiova**

| Denumirea transformatorului de curent | Tipul | Caracteristicile tehnice principale | | | | | | | | Observații |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Raportul de transformare $I_{1n}/I_{2n}$ | $U_n$ kV | $U_t$ kV | $I_t$ kA | $I_d$ kA | Clasa de precizie | $P_{2n}$ VA | $n$ | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Transformator de curent tip trecere, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior | CIT-0,5 t | 100—250/5 | 0,5 | 3 | $I_t = 60\, I_{1n}$ | — | 1 | 5 | <10 | Execuție monospirală |
| Transformator de curent tip șină, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior | CIT-0,5 t | 300—3000/5 | 0,5 | 3 | $I_t = 60\, I_{1n}$ | — | 0,5<br>1 | 10<br>15<br>30 | <5<br><10 | Primarul transformatorului este chiar bara instalației |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de curent tip suport, cu izolație din capace de bachelită, pentru montaj interior | CIS-0,5 t | 5—300/5 | 0,5 | 3 | $I_t=60\ I_{1n}$ | $I_d=150 I_{1n}$ | 0,5 | 10 | <5 | |
| Idem, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior | CIRS-0,5 t | 5—300/5 | 0,5 | 3 | $I_t=60\ I_{1n}$ | $I_d=150 I_{1n}$ | 0,5 | 10 | <5 | Pentru condiții grele de mediu (climat tropical umed, maritim etc.) |
| Idem, tip trecere, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior | CIRT-0,5 t | 100—250/5 | 0,5 | 3 | $I_t=50\ I_{1n}$ | — | 1 | 5 | <10 | Idem, monospiral |
| Idem, de trecere, tip șină, pentru interior, cu izolație de rășină turnată | CIRT-0,5 t | 300—3 000/5 | 0,5 | 3 | $I_t=60\ I_{1n}$ | — | 0,5<br>1 | 10<br>15<br>30 | <5<br><10 | Idem. Bobinajul primar este format din însăși bara instalației |

*Tabelul 2.2* (continuare)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de curent cu izolaţie de porţelan, tip trecere, pentru montaj interior | CIPT-10; 15 | 5—400/5 | 10<br>15 | 42<br>55 | $I_t = 90\, I_{1n}$ | $I_d = 250 I_{1n}$ | $\frac{0,5}{3}$<br>$\frac{0,5}{D}$ | 15/30<br>15/15 | $< \frac{10}{5}$<br>$> \frac{5}{10}$ | Înfăşurarea primară multispirală |
| Transformator de curent tip trecere, monospiral, cu izolaţie de porţelan, pentru montaj interior | CIPT 1—10; 15 | 600—1500/5 | 10<br>15 | 42<br>55 | $I_t = 100 I_{1n}$ | — | $\frac{0,5}{D}$<br>$\frac{1}{3}$<br>$\frac{0,5}{3}$ | 20/50<br>20/20 | $> \frac{20}{10}$<br>$< \frac{15}{10}$ | |
| Idem | CIPT-10 b | 400—1 000/5 | 10 | 35 | $I_t = 100 I_{1n}$ | — | $\frac{0,5}{D}$<br>$\frac{1}{3}$ | 15/30<br>30/60 | $< \frac{10}{10}$<br>$> \frac{10}{5}$ | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Transformator de curent de trecere, tip șină, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior | CIPT-10 c | 2 000—5 000/5 | 10 | 42 | $I_t = 100\ I_{1n}$ | — | 0,5 / 0,5 / 0,5 / 3 / D / D / D / 0,5 | 30/15 30/30 | ≥20 / >10 / ≥20 / >10 | |
| Transformator de curent, cu izolație de porțelan, tip suport, pentru montaj interior | CIPS-10 | 15 - 800/5 2(15—400)/5 | 10 | 42 | $I_t = 100\ I_{1n}$ | $I_d = 250\ I_{1n}$ | 0,5 / 3 / 3 | 15/30 30/30 30 | ≤10 / >10 / ≥10 / >5 | |
| Transformator de curent tip suport, pentru montaj interior, cu izolație din rășină turnată | CIRS-10 a | 15—600/5 | 10 | 42 | $I_t = 100\ I_{1n}$ | $I_d = 250\ I_{1n}$ | 0,5 / D / 0,5 / 3 / 1/D / 1/S | 15/30 30/30 | ≤10 / >5 / ≤10 / >10 | |

*Tabelul 2.2* (continuare)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Idem, de 35 kV | CIRS-6; 10; 20; 35 | 2(5—400) / 5/5 | 6<br>10<br>20<br>35 | 27<br>35<br>55<br>85 | $I_t = 100\ I_{1n}$ | $I_d = 250\ I_{1n}$ | 0,5 / 3<br>1/3<br>0,5/1<br>0,2/1 | 15/30<br>30/30<br>30/60 | <5 / >10<br><10 / >5 | |
| Transformator de curent tip suport, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior | CESU-35 | 5—1 000/5 | 35 | 85<br>(95) | $I_t = 100\ I_{1n}$ | $I_d = 250\ I_{1n}$ | 0,5/3<br>0,5/*D*<br>*D*/*D* | 50/50<br>30/30<br>60/60 | >20 / <5<br><15 / >15<br><10 / >5 | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Idem | CESU-110 b | 2(50—300) / 5/5/5 | 110 | 230 (260) | $I_t = 120 I_{1n}$ | $I_d = 350 I_{1n}$ | 0,5/ D/3<br>D/D/3<br>0,5/ D/D | 30 / 30 / 60 / 30 / 30 / 30 | <10 / >15 / >5 / >15 / >15 / >5 | |
| Transformator de curent, cu saturație rapidă, pentru alimentarea bobinelor de declanșare | $CIS_r$-1 | 4—5/3,5 | 1 | 3 | $I_{max\ durata} = 9,5$ A<br>$I_{2\ max} = 8$ A | | | | | Bobinele de declanșare ale dispozitivelor de acționare a întreruptoarelor folosesc curent alternativ |
| Transformator de curent homopolar (se introduce pe cablu) | CIH-75 | $I_{1n} = 10$ A | 0,5 | 2 | 0,2 | | | | | Pentru protecția contra punerilor la pămînt |

relor de curent de orice tip sînt reprezentate în fig. 2.2, în care $KL$ reprezintă înfășurarea primară, iar $k_1l_1$ și $k_2l_2$ înfășurările secundare.

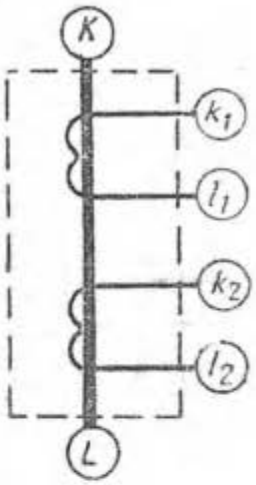



Fig. 2.2. Reprezentarea schemei electrice interioare a unui transformator de curent.

## 2.2. Transformatoare de fabricație străină

Transformatoarele de măsură obișnuite de fabricație străină sînt similare cu cele de fabricație românească, deosebindu-se de acestea numai în ceea ce privește forma și construcția unora dintre ele. Așa, de exemplu, transformatoarele de tensiune tip Skoda sînt prevăzute cu cîte două secții ale înfășurărilor secundare principale și auxiliare (fig. 2.3).

Cele două secții ale aceleiași înfășurări secundare pot fi legate în serie (în care caz tensiunea secundară este $2U_{2n}$, iar puterea este cea nominală) sau în paralel (în care caz tensiunea secundară este $U_{2n}$ iar puterea $2P_{2n}$). De asemenea se fabrică transformatoare de curent tip Skoda avînd schema interioară din fig. 2.4, la care un secundar are clasa de precizie 0,2 (pentru măsură).

Din categoria transformatoarelor speciale de fabricație străină, cel mai mult se utilizează:

— Transformatorul universal de curent tip UTT, portativ, de fabricație sovietică, avînd forma din fig. 2.5 și schema interioară ca în fig. 2.6. Înfășurarea primară a transformatorului este reprezentată de un cablu flexibil izolat, parcurs de curentul primar și care se bobinează în-

tr-un număr de spire determinat de raportul de transformare dorit, prin orificiul practicat în acest scop.

— Transformatorul de curent dreptunghiular, folosit ca filtru de curent de secvență homopolară în protecția contra

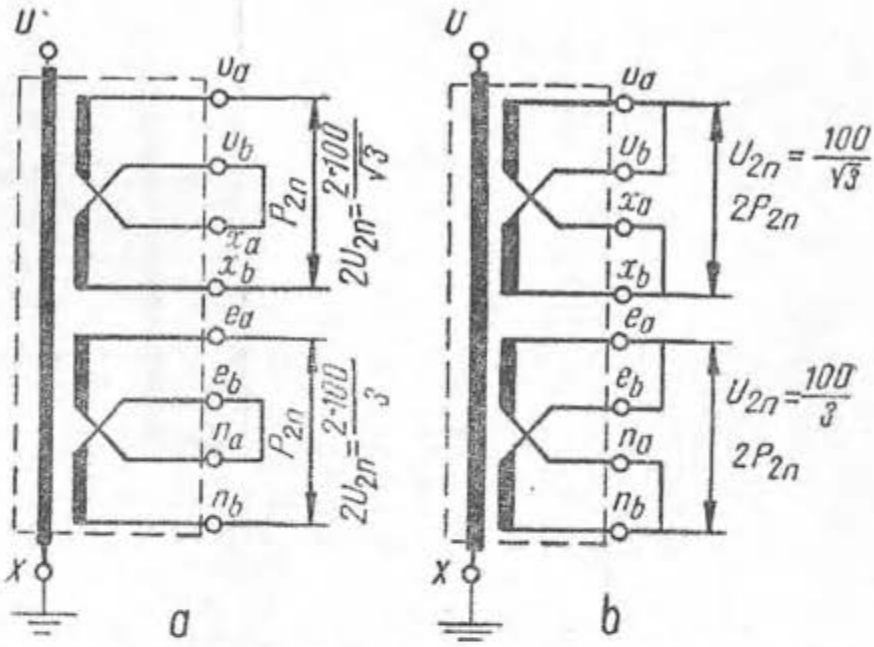



Fig. 2.3. Schema electrică de conexiuni a transformatorului de tensiune Skoda:

*a* — legarea în serie a secțiunilor; *b* — legarea în paralel a secțiunilor.

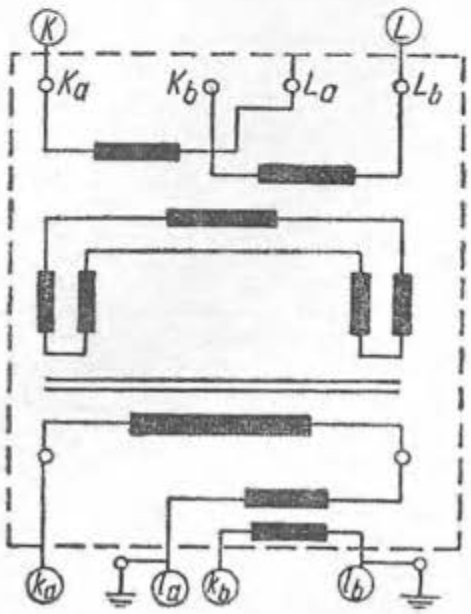



Fig. 2.4. Schema de conexiuni a transformatorului de curent Skoda.

punerilor la pămînt monofazate în statorul generatorului (fig. 2.7). Forma lui este astfel aleasă, încît prin interiorul

Fig. 2.5. Transformator universal de curent tip UTT.

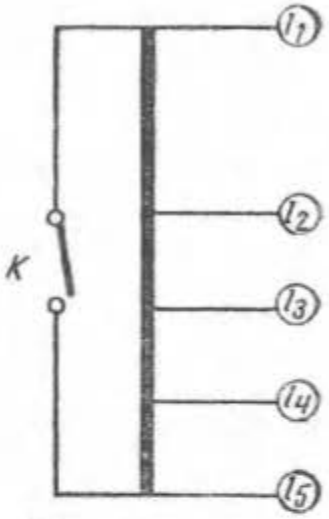



Fig. 2.6. Schema interioară a transformatorului universal de curent tip UTT.

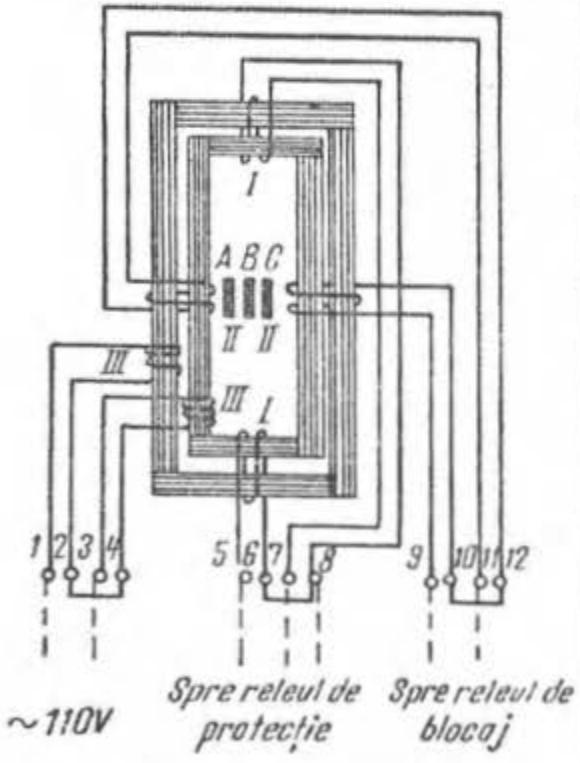



Fig. 2.7. Schema transformatorului dreptunghiular, homopolar de tip TMP-Ş.

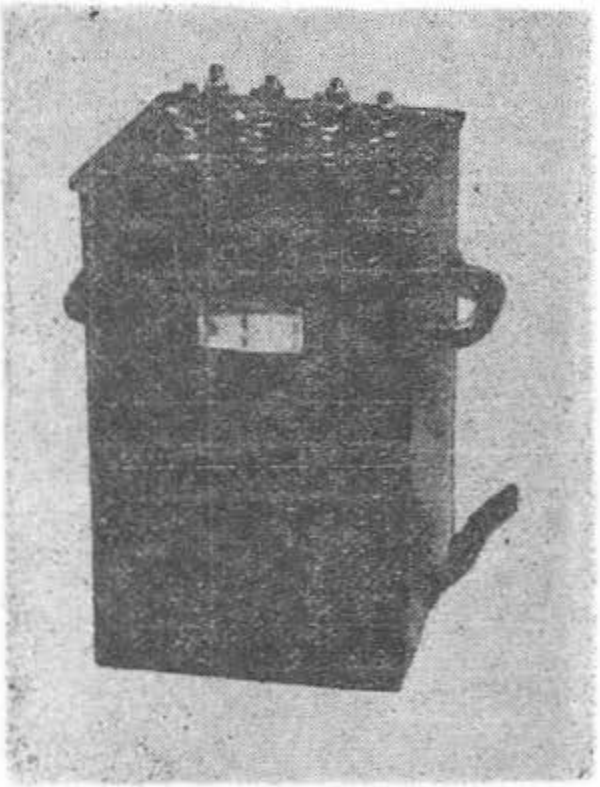


Fig. 2.8. Transformator etalon tip VEM.

miezului său se poată trece barele sau cablurile generatorului. În regim normal de funcţionare şi la scurtcircuite bifazate şi trifazate, fluxul magnetic rezultant este zero, astfel că în înfăşurarea secundară bobinată pe miez nu apare tensiune electromotoare. În cazul punerii la pămînt monofazate, fluxul rezultant nu mai este zero, datorită curentului mare din faza defectă, astfel că în secundar apare o tensiune electromotoare, care determină funcţionarea protecţiei.

— Transformatoarele etalon tip VEM (fig. 2.8), avînd mai multe domenii de măsurare.

## 3. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură

Transformatoarele de măsură montate în instalaţii trebuie supravegheate permanent în timpul funcţionării, de către personalul de exploatare. Exploatarea transformatoarelor de măsură constă în următoarele:

— Verificarea aspectului exterior al acestora, conform indicaţiilor de la subcap. 5.2.

— Periodic (conform tabelului 5.1) este necesar să se scoată din funcţiune transformatoarele de măsură, pentru luarea probelor de ulei prin buşonul prevăzut în acest scop la partea inferioară a cuvei. Probele respective se trimit la laborator pentru determinarea calităţii uleiurilor.

— Se completează sau se umplu cu ulei transformatoarele de măsură care necesită acest lucru. Completarea, respectiv umplerea cu ulei, se fac numai pe la buşonul de aerisire, ce se află în partea superioară a cuvei.

— În cazul transformatoarelor de curent cu mai multe înfăşurări secundare, dacă unele din acestea nu se folosesc, ele trebuie să fie scurtcircuitate. În cazul cînd se lucrează în circuitele secundare alimentare de transformatoarele de curent, acestea fiind în funcţiune, se vor lua de asemenea

măsuri ca în timpul lucrării să fie scurtcircuitate toate înfășurările secundare, cu ajutorul unor cleme speciale sau cu blocuri de încercare.

— Transformatoarele de măsură trebuie supuse periodic (la termenele indicate în cap. 5) verificărilor și încercărilor prescrise.

— Respectarea normelor de tehnica securității și a instrucțiunilor tehnice interne este obligatorie în timpul exploatării transformatoarelor de măsură.

— Pentru toate transformatoarele de măsură este necesar să se țină o evidență tehnică la zi, care trebuie să cuprindă cel puțin:

— buletinele de verificare și încercare, emise de întreprinderea constructoare, precum și cele întocmite la punerea în funcțiune și periodic în exploatare sau la verificări ale organelor D.G.M.S.I.;

— datele la care s-au luat probele de ulei și rezultatele acestora, ale schimbării uleiului și ale completărilor cu ulei;

— datele la care s-au efectuat uscări sau reparații ale transformatorului, defecțiunile constatate, modul în care s-au manifestat și ce anume reparații au suferit;

— în ce instalații sînt montate și condițiile specifice de funcționare (temperatura mediului, existența agenților corosivi, încărcarea transformatorului, grupa de conexiuni, raportul de transformare etc.).

# 4. Schemele de legare a transformatoarelor de măsură în instalațiile electroenergetice

## 4.1. Noțiuni generale

În mod obișnuit, prin intermediul transformatoarelor de măsură se controlează următorii parametri caracteristici circuitelor trifazate [3]: curenții pe faze, tensiunea fiecărei

faze față de pămînt și tensiunile între faze. De asemenea, acești parametri, reduși cu ajutorul transformatoarelor de măsură, se pot combina în circuitele secundare în așa fel încît pe de o parte să se poată măsura parametrii derivați, cum sînt: puterea, energia, factorul de putere etc., iar pe de altă parte să se poată obține mărimi care să caracterizeze anumite regimuri de funcționare, normale sau de avarie, ale instalațiilor. Acești parametri cu care se alimentează aparatajul din circuitele secundare se pot obține prin realizarea unei serii de scheme de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune, respectiv ale celor de curent. Principalele scheme de conexiuni utilizate sînt indicate mai jos.

Avînd în vedere că o serie de aparate de măsurat și relee sînt sensibile nu numai la valoarea mărimilor cu care se alimentează ci și la sensul, respectiv la defazajul fazorilor acestor mărimi, este necesar să se dea o atenție deosebită modului în care se execută schemele de conexiuni ale transformatoarelor de măsură. Din acest motiv, bornele transformatoarelor de măsură sînt marcate după anumite reguli stabilite de fiecare țară pentru produsele ei. Regulile de marcare stabilite pentru transformatoarele românești sînt următoarele [3]:

1. Pentru transformatoarele monofazate de tensiune:

— Bornele înfășurării primare sînt marcate cu litere mari: $A$ pentru începutul înfășurării și $X$ pentru sfîrșitul ei.

— Bornele înfășurării secundare principale — cu literele mici corespunzătoare ($a$, $x$), în așa fel încît, dacă curentul în înfășurarea primară circulă de la $A$ spre $X$, în cea secundară va circula de la $x$ spre $a$, ceea ce face să corespundă pentru circuitul exterior legat la aceste borne sensul de la $a$ spre $x$, așa cum se vede în fig. 4.1.

— Bornele înfășurării secundare auxiliare se marchează cu $a_1$, $x_1$.

2. Pentru transformatoarele trifazate de tensiune:

— Începuturile înfășurărilor primare ale fazelor $R$, $S$, $T$

se marchează cu literele mari *A*, *B*, *C*, iar sfîrşiturile acestor înfăşurări — cu literele mari *X*, *Y*, *Z*; neutrul înfăşurării primare se marchează cu litera *N*.

— Începuturile înfăşurărilor secundare principale se marchează cu literele mici corespunzătoare *a*, *b*, *c*, iar sfîrşiturile acestora — cu literele mici *x*, *y*, *z*.

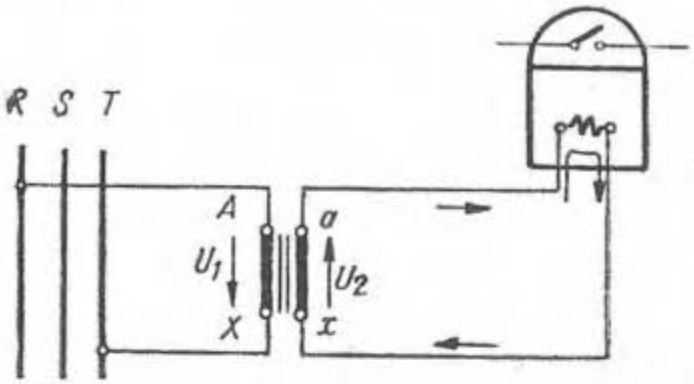



Fig. 4.1. Marcarea bornelor transformatoarelor de tensiune.

— Înfăşurarea secundară auxiliară se marchează cu aceleaşi litere mici, purtînd indicele 1 ($a_1$, $x_1$); neutrul înfăşurării secundare — cu *n*.

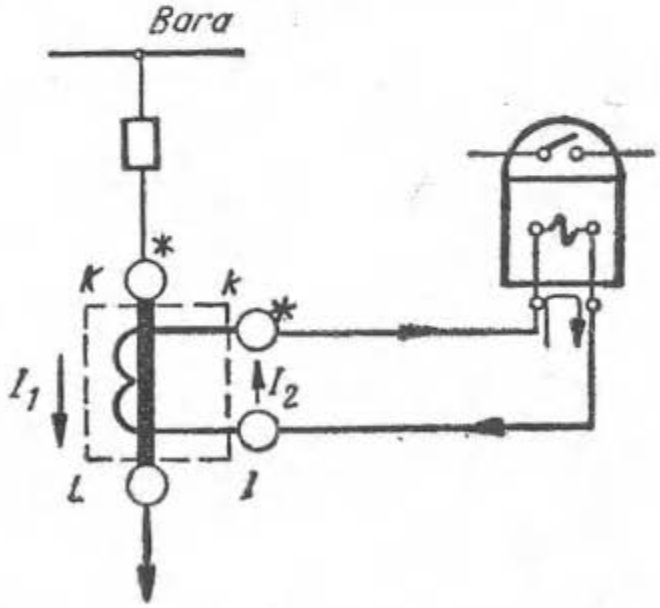



Fig. 4.2. Marcarea bornelor transformatoarelor de curent.

3. Pentru transformatoarele de curent, regula pe care se bazează marcarea bornelor este aceea că aparatul sau releul se conectează la secundarul transformatorului, astfel încît

sensul de curgere al curentului prin aparatul respectiv să fie același ca și în cazul cînd ar fi legat direct în circuitul primar (în rețea).

Începuturile înfășurărilor primare se notează cu literele mari $K$ și $L$ (prima literă marcînd începutul iar cea de-a doua sfîrșitul bobinajului primar).

— Înfășurările secundare se marchează cu literele mici corespunzătoare $k$ și $l$, așa cum se vede în fig. 4.2. Dacă transformatorul are mai multe înfășurări secundare, literele $k$ și $l$ sînt urmate de indici numerici.

## 4.2. Schemele de legare a transformatoarelor de tensiune

### 4.2.1. *Schema de legare pentru măsurarea tensiunii între faze*

Această schemă este reprezentată în fig. 4.3 și se utilizează în toate cazurile în care este necesar să se măsoare o singură tensiune între faze în sistemele cu neutrul izolat (în țara noastră, în rețelele de medie tensiune pînă la 35 kV inclusiv). Cazurile practice în care se folosește această schemă sînt:

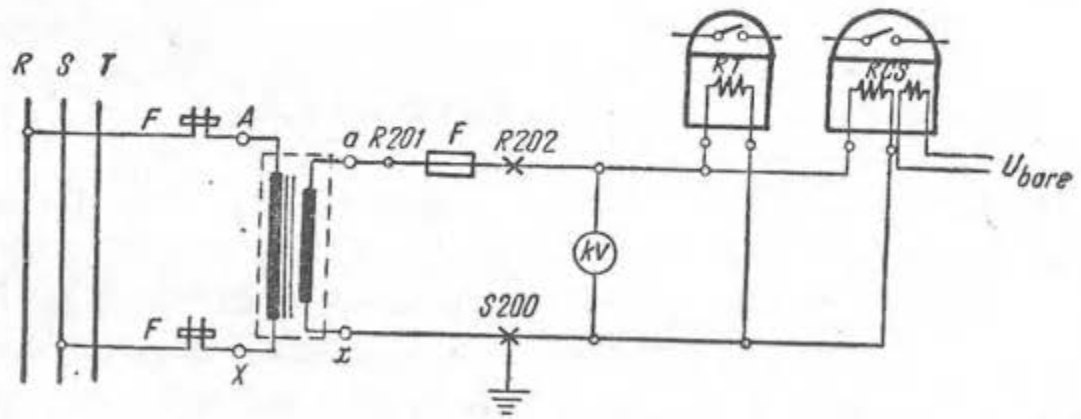



Fig. 4.3. Schema de conexiuni pentru măsurarea tensiunii între faze.

— controlul prezenței tensiunii pe liniile interconectate (se măsoară cu un voltmetru etalonat în kilovolți sau se verifică cu o lampă de control);

— alimentarea releelor de minimă și maximă tensiune (*RT*) utilizate în schemele de automatizări (RAR și AAR);

— alimentarea sincronoscopului, a dublu-voltmetrului, a dublu-frecvențmetrului sau a releului de control al sincronismului (RCS), aparate prin care se controlează condițiile de cuplare în sincronism a două surse.

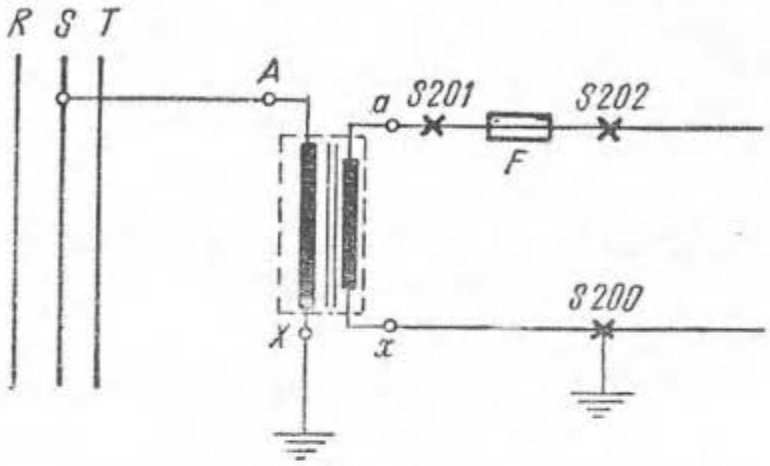



Fig. 4.4. Schema de conexiuni pentru măsurarea tensiunii fazei *S* față de pământ, în sistemele cu neutrul legat la pământ.

În cazul rețelelor cu neutrul legat la pământ (rețele de 110, 220 și 400 kV), pentru aceleași scopuri se utilizează schema din fig. 4.4 cu care se obține tensiunea fazei *S* față de pământ.

### 4.2.2. *Schema de legare în V*

Se utilizează în rețelele cu neutrul izolat, pentru alimentarea aparatelor de măsurat, a aparatajului de protecție și automatizare, cu cele trei tensiuni între faze (de exemplu voltmetre, wattmetre și contoare cu două echipaje, relee de tensiune etc.). Pentru realizarea schemei de legare în V sînt necesare două transformatoare bifazate de tensiune, legate ca în fig. 4.5. În scopul realizării acestei conexiuni trebuie să se acorde o atenție deosebită, în sensul ca marcajul bornelor primare respectiv secundare să corespundă notațiilor din fig. 4.5. Schema are avanta-

jul că se economiseşte un transformator bifazat de tensiune, dar are dezavantajul că nu se pot obţine în secundar tensiunile pe fază.

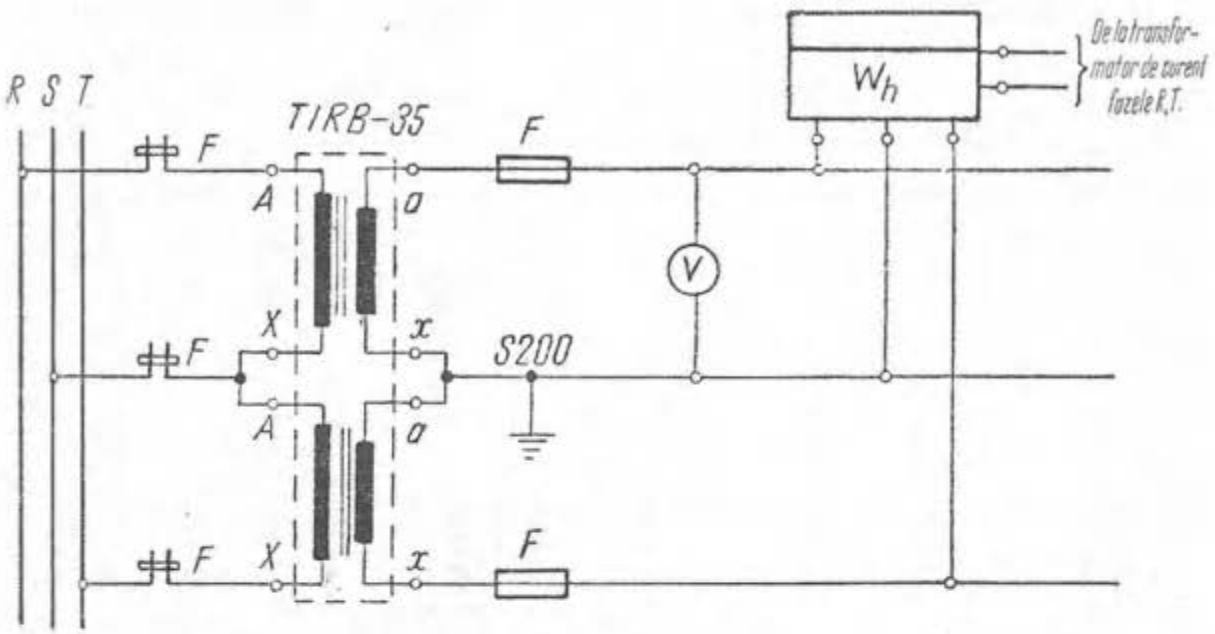



Fig. 4.5. Schema de conexiuni în V, a două transformatoare bifazate de tensiune.

### 4.2.3. *Schema de legare în stea*

Se utilizează atît în sistemele cu neutrul izolat cît şi în cele cu neutrul legat la pămînt, pentru alimentarea aparatelor din circuitele secundare cu cele trei tensiuni pe faze şi cu cele trei tensiuni între faze. Schema se poate realiza cu trei transformatoare de tensiune monofazate (TIRM-25,35, TEMU-25,35, TEMU-110) legate ca în fig. 4.6, din care rezultă că fiecare transformator are primarul conectat la tensiunea $U_{1n}/\sqrt{3}$. Secundarul principal al fiecărui transformator, notat cu $a$, $x$, are tensiunea nominală de $100/\sqrt{3}$ V. Înfăşurările secundare principale ale celor trei transformatoare de tensiune au bornele $x$ (sfîrşiturile) legate împreună, formînd nulul stelei legat la pămînt printr-un eclator, iar prin bornele $a$ ale celor trei transformatoare se alimentează aparatele din circuitele secundare, cu tensiunile dintre faze. Tensiunile pe fază se realizează prin conectarea aparatelor între una din aceste faze şi conductorul de nul, legat la steaua secundarelor

principale. Înfăşurarea secundară suplimentară, notată cu $a_1$, $x_1$, are tensiunea de 100 V la TEMU-110 şi 100/3 V la TEMU-25,35. Aceste înfăşurări secundare auxiliare ale celor trei transformatoare de tensiune se leagă în triunghi deschis, ceea ce constituie un filtru de tensiune ho-

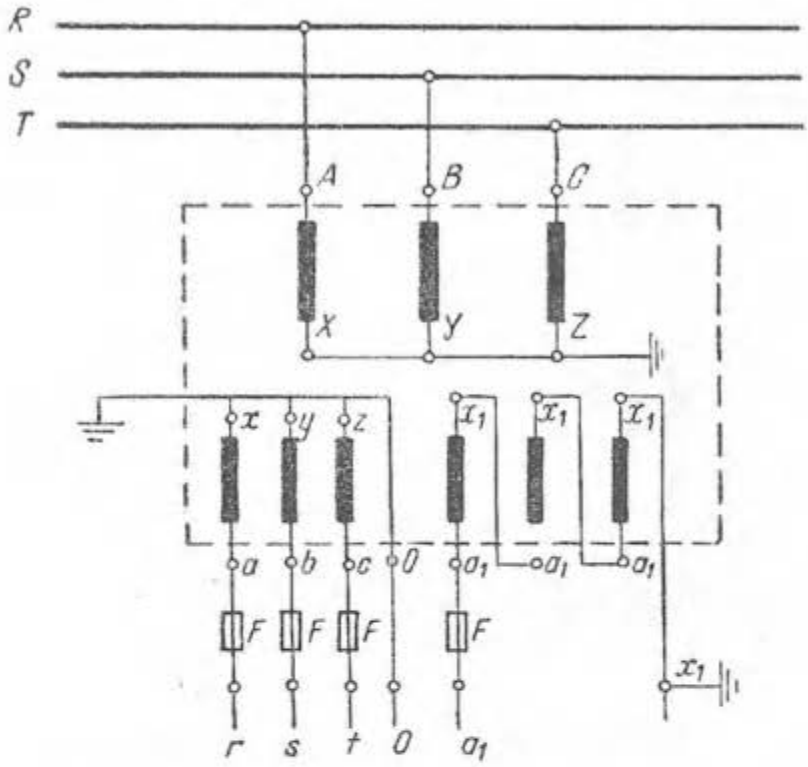



Fig. 4.6. Schema de conexiuni în stea.

mopolară (fig. 4.6), de la care se alimentează cu tensiune homopolară releele din schema de protecţie homopolară

În regim normal de funcţionare al reţelei sau în regim de scurtcircuit fără punere la pământ, dacă suma geometrică a celor trei tensiuni pe fază ale sistemului trifazat are valoarea zero, rezultă că şi tensiunea la bornele triunghiului deschis ($a_1$, $x_1$), numită *tensiune homopolară*, este egală cu zero. Datorită faptului că în mod practic există un oarecare dezechilibru în sistemele trifazate, valoarea tensiunii homopolare va fi diferită de zero însă va avea o valoare foarte mică (circa 0,5—2 V). La un defect cu punere la pământ al uneia dintre fazele reţelei de înaltă tensiune, la bornele triunghiului deschis apare o tensiune egală cu suma geometrică a tensiunilor celor două faze

sănătoase (fără defect). Numărul de spire ale bobinajelor secundare auxiliare $a_1, x_1$ (deci raportul de transformare al transformatorului de tensiune) se alege astfel încît această sumă geometrică să aibă valoarea limită de 100 V, respectiv 100/3 V. Alegerea acestui raport de transformare are la bază faptul că în cazul punerii la pămînt a uneia dintre fazele rețelei, tensiunea homopolară în rețelele cu neutrul legat direct la pămînt este egală cu tensiunea pe fază $U_f$ a rețelei, iar la rețelele cu neutrul izolat este egală cu $\sqrt{3}\,U_f$. Din acest motiv, raportul de transformare corespunzător înfășurărilor secundare auxiliare s-a ales la TEMU — 110 de $\frac{110\,000}{\sqrt{3}}$ /100 V, iar la TEMU-25,35 — de $\frac{35\,000}{\sqrt{3}}\Big/\frac{100}{3}$ V.

La bornele $a_1$, $x_1$ ale triunghiului deschis se conectează releul homopolar, care în cazul defectelor monofazate va fi alimentat la limită cu 100 V, avînd condiții de acționare. În cazul cînd în instalațiile de 110 kV se găsesc montate transformatoare cu tensiunea nominală a secundarului auxiliar de 100/3 V, este necesar să se monteze la bornele triunghiului deschis un transformator ridicător de tensiune de $\frac{100}{3}$/100 V, avînd o putere corespunzătoare, de la care apoi să se alimenteze releele direcționale tip IMB-178 ale protecției homopolare de curent direcționale a liniilor. Acest lucru este necesar deoarece releele IMB-178 sînt construite pentru $U_n$=100 V și $I_n$=5 A și, în consecință, dacă ar fi alimentate cu 100/3 V ar avea o siguranță în funcționare mai scăzută.

Schemele de conexiuni ale transformatoarelor de tensiune monofazate descrise mai sus se întîlnesc și la transformatoarele de tensiune trifazate cu cinci coloane, ce se construiesc pentru tensiuni primare pînă la 35 kV (folosite în rețelele cu neutrul izolat). În fig. 4.7 se reprezintă schița unui transformator trifazat cu cinci coloane. Pe cele trei coloane din mijloc sînt amplasate înfășurările primare ale celor trei faze, conectate în stea cu punctul neutru scos și legat la pămînt. Pe aceleași coloane este amplasată și înfășurarea secundară principală, legată în stea. Cele

două coloane extreme au rolul de a crea posibilitatea închiderii fluxului de secvență homopolară $\Phi_0$ ce apare în cazul unui defect monofazat în rețeaua de înaltă tensiune. Din acest motiv, pe coloanele extreme se ampla-

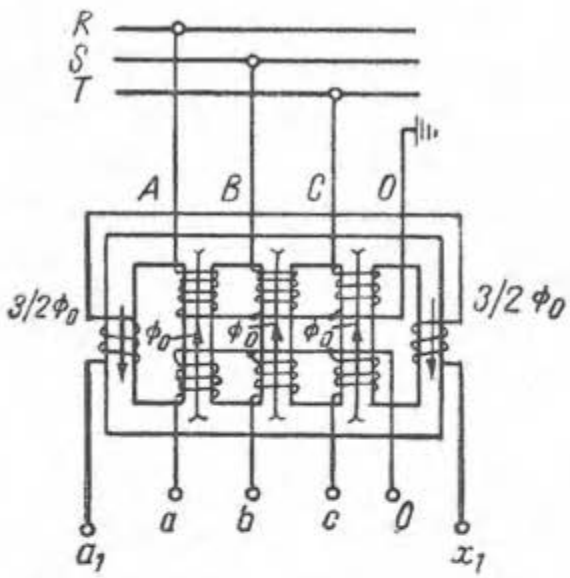



Fig. 4.7. Transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările suplimentare amplasate pe coloanele externe.

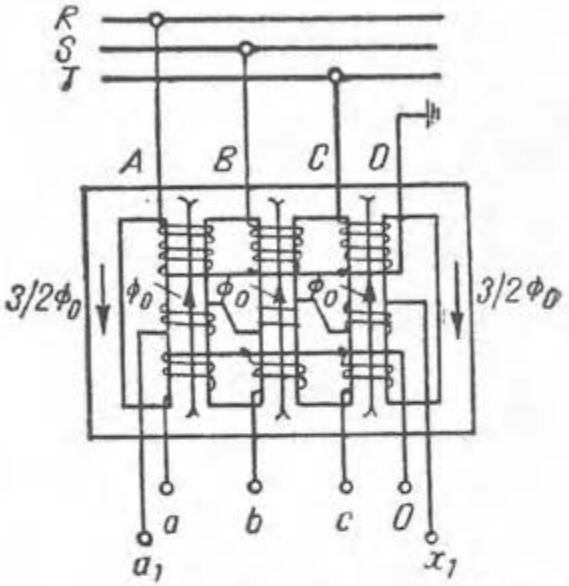



Fig. 4.8. Transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările secundare ale triunghiului deschis amplasate pe coloanele centrale.

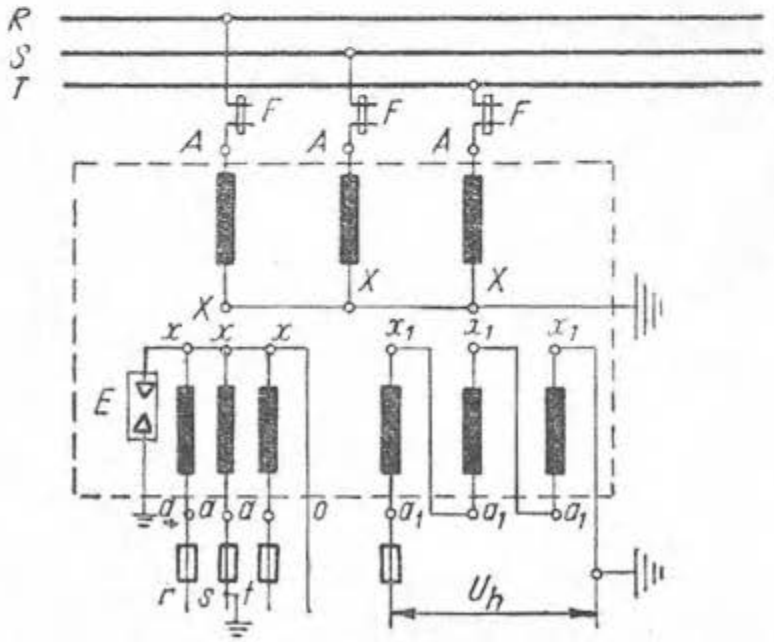



Fig. 4.9. Schema electrică de conexiuni a transformatorului de tensiune trifazat din fig. 4.8.

sează două înfășurări (legate împreună în serie și scoase la bornele $a_1$, $x_1$) în care la defecte monofazate, din cauza fluxului homopolar, se induce o tensiune homopolară. În regim normal de funcționare, tensiunea la bornele $a_1$, $x_1$ este nulă, deoarece suma tensiunilor electromotoare induse în cele trei faze ale înfășurării secundare principale este egală cu zero (nu există flux homopolar).

În fig. 4.8 se reprezintă un transformator de tensiune trifazat, cu înfășurările secundare suplimentare ale triunghiului deschis amplasate pe coloanele centrale. Schema de conexiuni a acestui transformator, mult utilizat, este reprezentată în fig. 4.9. Cu ajutorul transformatorului de tensiune trifazat se pot obține cele trei tensiuni ale fiecărei faze față de pământ în sistemele cu neutrul izolat, cum și tensiunea homopolară.

## 4.3. Schemele de legare a transformatoarelor de curent

### 4.3.1. *Schema de legare a două transformatoare în stea incompletă*

Se realizează cu două transformatoare de curent montate pe două faze, în sistemele cu neutrul izolat, cu fazele încărcate uniform sau neuniform, așa cum se vede în fig. 4,10. Cele două relee (sau ampermetre) montate în secundar, unul pe faza $R$ iar celălalt pe faza $T$, măsoară curenții secundari ai fazelor $R$ și respectiv $T$, care au valorile: $I_{2R}=\frac{I_{1R}}{k_e}$, respectiv $I_{2T}=\frac{I_{1T}}{k_e}$.

În schemă se poate monta și un al treilea ampermetru sau releu, legat pe conductorul de întoarcere (releul $H$) și care va măsura curentul fazei $S$. Acest lucru se vede clar din faptul că prin conductorul de întoarcere (releul $H$) circulă un curent egal ca valoare cu suma curenților din fazele $R$ și $T$ și opus ca sens acestei sume. Oricum, în instalațiile indicate este întotdeauna îndeplinită condiția: $I_{1R}+I_{1S}+I_{1T}=0$, de unde rezultă că

$I_{1S} = -(I_{1R} + I_{1T})$. Deci releul $H$ va măsura curentul

$$I_0 = I_{2S} = -\frac{I_{1R} + I_{1T}}{k_e}.$$

Această schemă se utilizează în sistemele cu neutrul izolat, pentru alimentarea protecțiilor împotriva scurtcircuitelor între faze. Releul $H$, legat pe firul de întoarcere,

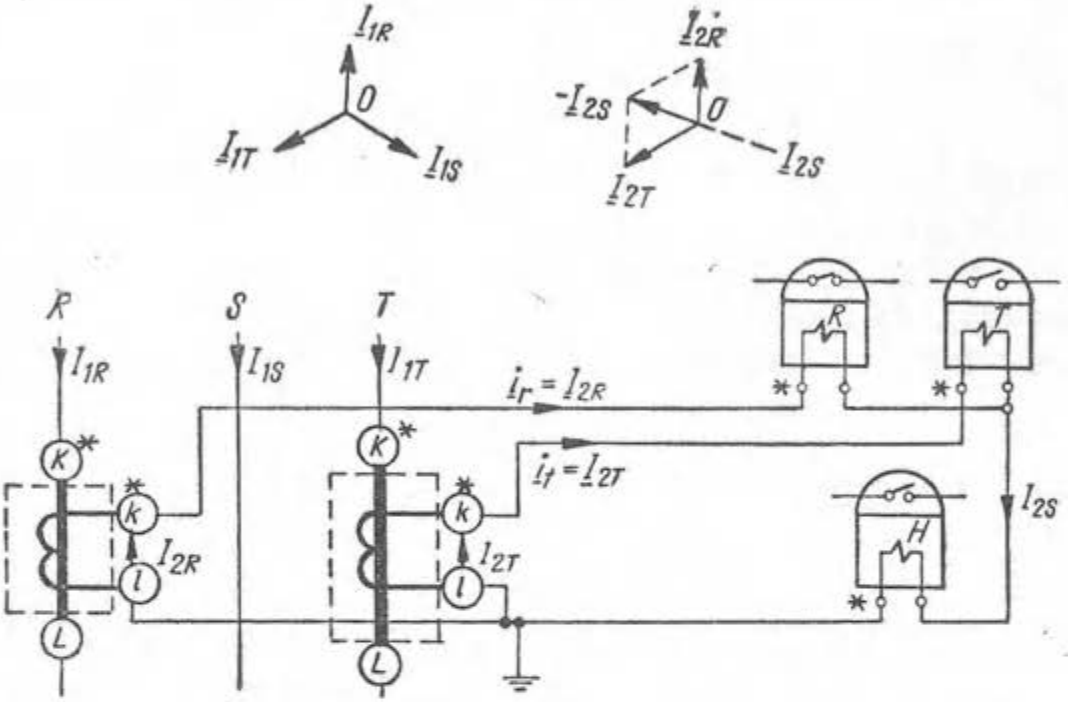



Fig. 4.10. Schema de legătură a două transformatoare de curent în stea incompletă și diagramele fazoriale ale curenților.

are condiții de lucru numai la scurtcircuite bifazate între fazele $R$ și $S$ sau $S$ și $T$. Schema prezintă avantajul că în rețelele cu neutrul izolat se face economie de un transformator de curent (cel de pe faza $S$) și de releul de pe faza $S$.

### 4.3.2. *Schema de legare a trei transformatoare în stea*

Această schemă (fig. 4.11) se utilizează în rețelele cu neutrul legat la pământ. Secundarele celor trei transformatoare de curent de pe cele trei faze au bornele $l$ legate împreună și la pământ (nulul stelei), iar de la bornele $k$ ies firele ce se leagă la bornele releelor de pe cele trei faze

(*R*, *S*, *T*). În schemă se poate lega pe conductorul de întoarcere un al patrulea releu (*H*). În regim normal de funcţionare al reţelei, la o încărcare uniformă a fazelor, prin releul *H* nu trece nici un curent, iar prin cele trei relee

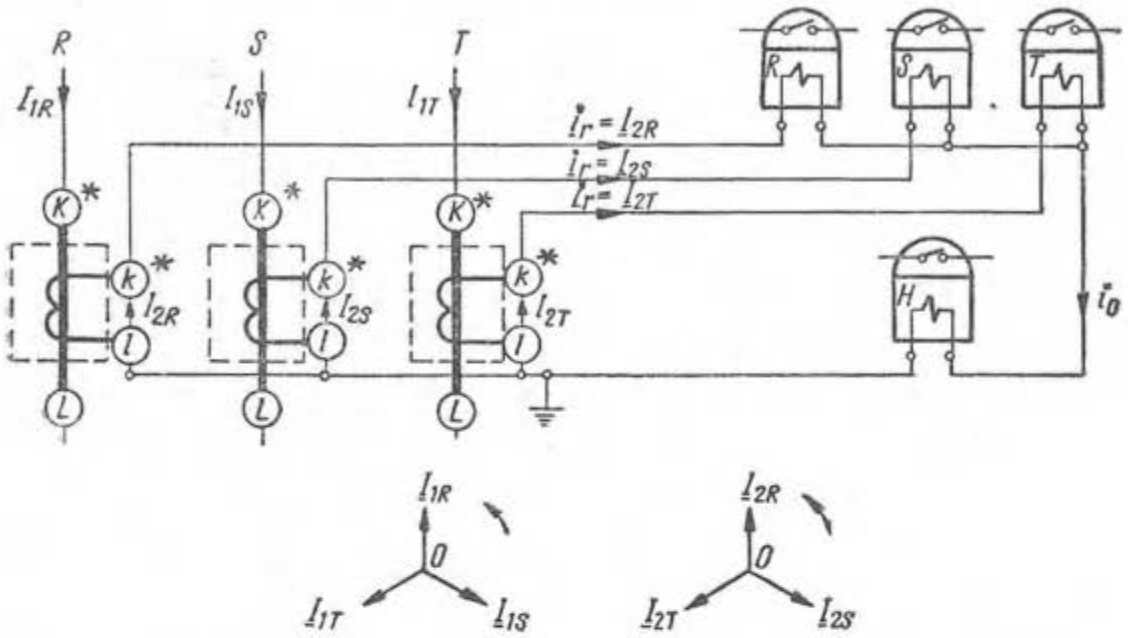



Fig. 4.11. Schema de legătură a trei transformatoare de curent în stea şi diagrama fazorială în primar, respectiv în secundar.

montate pe faze trec curenţii fazelor respective ($i_r = I_{2R} = \frac{I_{1R}}{k_e}$ etc.). În caz de scurtcircuit monofazat, prin releul montat pe faza defectă trece curentul de defect, iar prin releul *H* trece curentul de secvenţă homopolară, $i_0 = \frac{I_{1R} + I_{1S} + I_{1T}}{k_e}$. Rezultă că această schemă de conexiuni a transformatoarelor de curent se utilizează pentru alimentarea schemei de protecţie împotriva tuturor categoriilor de scurtcircuite în reţele (scurtcircuit monofazat-releul *H*, scurtcircuite monofazate şi polifazate-releele legate pe cele trei faze).

### 4.3.3. *Schema filtrului de secvenţă homopolară*

Este reprezentată în fig. 4.12 şi se realizează prin legarea în paralel a secundarelor celor trei transformatoare de pe cele trei faze. Releul *H* este înseriat pe conductorul ce

unește bornele $k$ și $l$. Prin releul $H$ va trece un curent numai în cazul scurtcircuitelor monofazate, respectiv în cazul punerii la pămînt a unei faze, ca și prin releul $H'$ din fig. 4.11, deoarece atît în regim normal de funcțio-

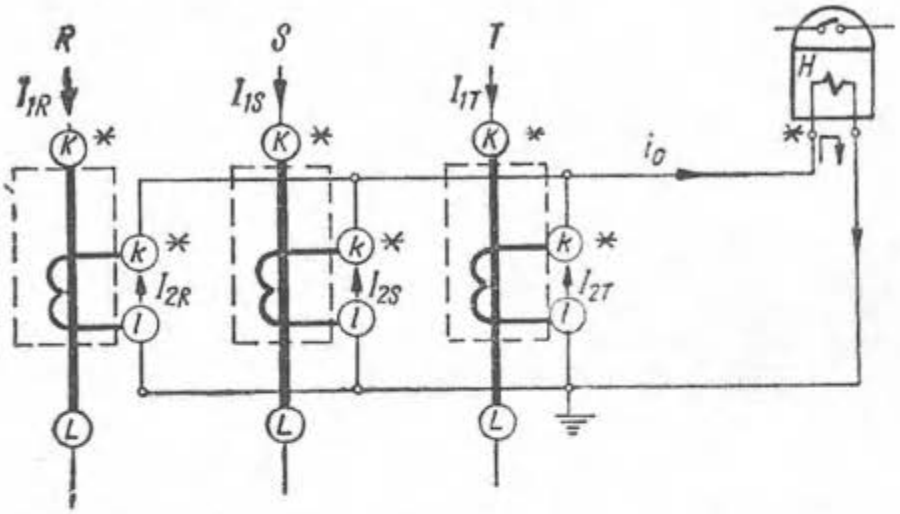



Fig. 4.12. Schema filtrului de secvență homopolară.

nare cît și la scurtcircuite bifazate și trifazate, suma geometrică a curenților de pe cele trei faze este zero. Acest tip de schemă de conexiuni a transformatoarelor de curent se folosește pentru alimentarea protecțiilor împotriva scurtcircuitelor monofazate din rețelele cu neutrul legat la pămînt, ca și pentru alimentarea instalațiilor de semnalizare a punerii la pămînt a unei faze în rețelele cu neutrul izolat, respectiv compensat.

### 4.3.4. *Schema de legare în triunghi*

Secundarele celor trei transformatoare de curent se leagă în triunghi, așa cum se vede în fig. 4.13, și anume începutul înfășurării secundare a transformatorului de pe faza $R(k)$ cu sfîrșitul înfășurării secundare a transformatorului de pe faza $S(l)$. În continuare, borna $k$ a transformatorului de pe faza $S$ cu borna $l$ a transformatorului de pe faza $T$, iar borna $k$ a transformatorului de pe faza $T$ cu borna $l$ a transformatorului de pe faza $R$. În acest caz, curentul $i_r$ cu care se alimentează releul $R$ în regim nor-

mal de funcționare ca și în regim de scurtcircuit trifazat va fi de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît curentul pe fază (adică $i_r = 3I_{2R}$) și defazat cu 30° înaintea acestuia din urmă (vezi diagrama fazorială la bornele releelor, fig. 4.13).

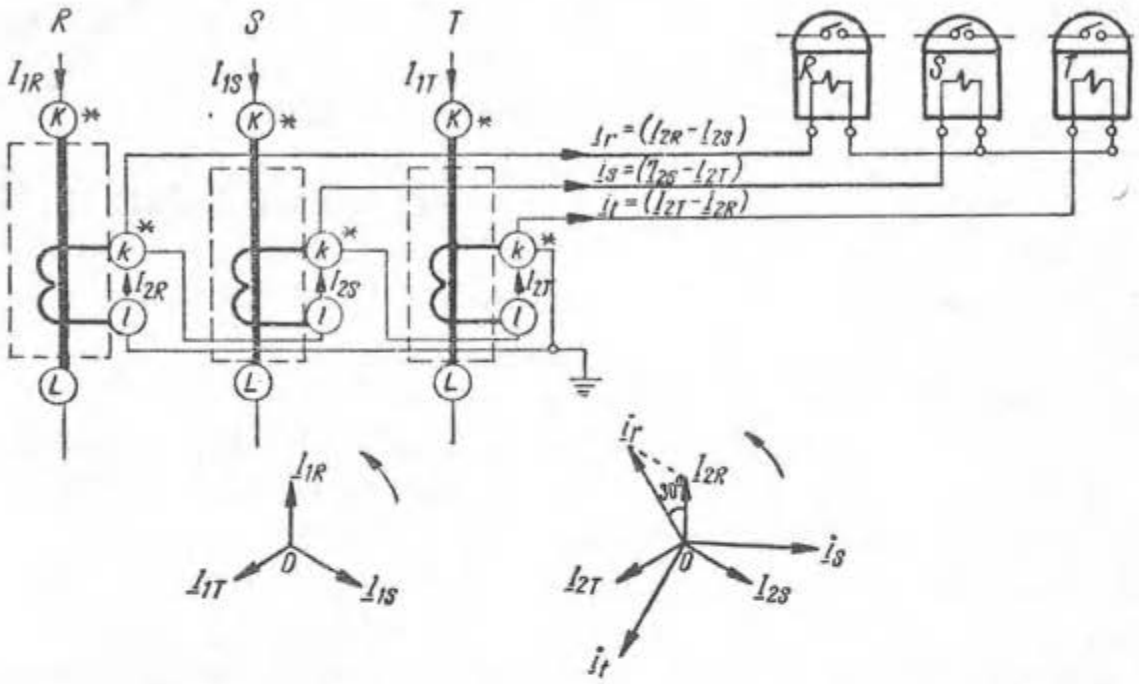



Fig. 4.13. Schema de legătură în triunghi a transformatoarelor de curent și diagramele fazoriale în primar, respectiv în secundar.

Triunghiul se poate realiza și invers, adică borna *l* a transformatorului de pe faza *R* cu borna *k* a transformatorului de pe faza *S* și așa mai departe. În acest caz, curenții cu care vor fi alimentate releele vor avea valoarea tot de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît curenții pe faze ($i_r = \sqrt{3}\, I_{2R}$; $i_s = \sqrt{3}\, I_{2S}$; $i_t = \sqrt{3}\, I_{2T}$), dar vor fi defazați în urmă cu 30° față de curenții pe faze.

Curentul de secvență homopolară $i_0$ nu trece prin relee deoarece el se închide în triunghiul format de secundarele transformatoarelor de curent, astfel încît, la scurtcircuite monofazate, prin relee vor circula numai curenți de secvență directă și inversă.

Scoaterea firelor de la secundarele transformatoarelor de curent și ducerea lor la relee se poate face ca în fig. 4.13, adică de la bornele *k*, sau invers de la bor-

nele $l$. În acest din urmă caz, curentul prin releu va fi defazat cu 120° faţă de cel din primul caz.

Schema de conexiuni în triunghi permite acţionarea releelor la orice fel de scurtcircuit şi se utilizează în mod obişnuit pentru alimentarea instalaţiilor de protecţie diferenţială.

### 4.3.5. *Schema de legare în opt*

Este reprezentată în fig. 4.14 şi se utilizează pentru alimentarea instalaţiilor de protecţie împotriva scurtcircuitelor polifazate ale motoarelor electrice alimentate din reţelele cu neutrul izolat. Nu se foloseşte pentru protecţia transformatoarelor de forţă avînd conexiunea stea-triunghi.

Schema se realizează prin legarea bornei polarizate (semnul *) secundare $k$ a transformatorului de curent de pe faza $R$ cu borna secundară nepolarizată $l$ a transformatorului de pe faza $T$, precum şi prin legarea bornei nepolarizate $l$ a secundarului transformatorului fazei $R$ cu borna polarizată $k$ a secundarului transformatorului de pe faza $T$. Circuitul secundar exterior ce merge la releu se

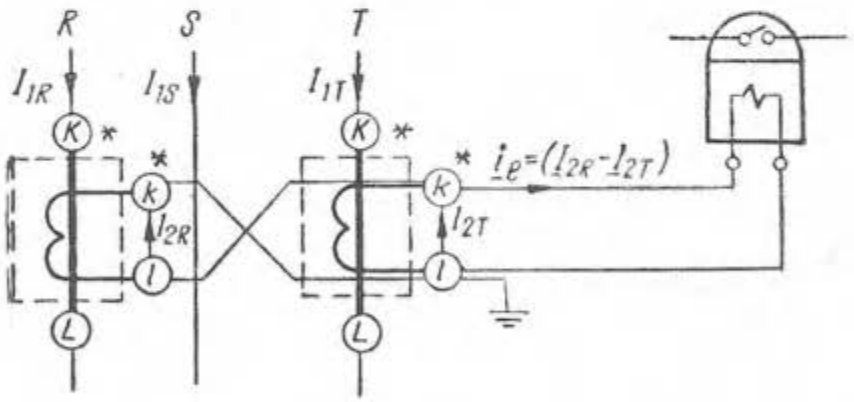



Fig. 4.14. Schema de legare a două transformatoare de curent în opt.

conectează la bornele $k$ şi $l$ ale transformatorului de pe faza $T$, adică la diferenţa geometrică a curenţilor din secundarele celor două transformatoare de curent ($i_e = I_{2R} - I_{2T}$).

Din fig. 4.15 se observă că în regim normal de funcţionare al reţelei, precum şi în regim de scurtcircuit trifazat, diferenţa geometrică $i_e=(I_{2R}—I_{2T})$ este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît curentul pe fază. Aceasta datorită faptului că în regim normal şi în regim de scurtcircuit trifazat, prin cele trei faze ale reţelei trec curenţi egali ca valoare şi defazaţi

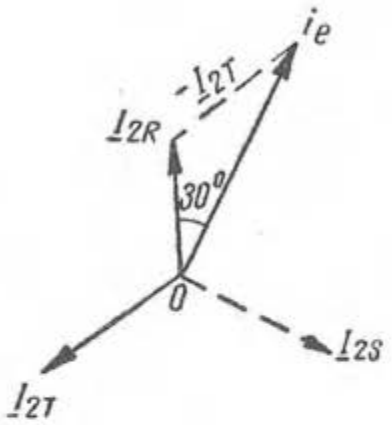



Fig. 4.15. Diagrama fazorială.

între ei cu 120°. Curenţii din secundarele transformatoarelor de măsură de pe fazele $R$ şi $T$ vor fi defazaţi corespunzător (curentul secundar $I_{2S}$ desenat punctat în fig. 4.15 lipseşte, deoarece pe faza $S$ nu avem transformator de curent). Din diagrama fazorială reprezentată în fig. 4.15 se observă că prin circuitul exterior va trece în acest caz, curentul $i_e=(I_{2R}—I_{2T})=\sqrt{3}\,I_{2R}$.

În regim de scurtcircuit trifazat al reţelei (fig. 4.16,*a*, *b*, *c*), valoarea curentului debitat de secundarele transformatoarelor legate în opt, pe circuitul secundar exterior (prin releu), depinde de fazele defecte, şi anume:

— în cazul scurtcircuitelor între fazele $R$ şi $S$, curentul în circuitul exterior va fi $i_e=I_{2R}$;

— la un scurtcircuit între fazele $S$ şi $T$, curentul va fi $i_e=I_{2T}$;

— la un scurtcircuit între fazele $R$ şi $T$, curentul va fi $i_e=2\,I_{2R}$.

Dacă scurtcircuitul este monofazat, şi anume pe faza $S$ pe care nu avem transformator de curent, în circuitul exterior nu vom avea curent.

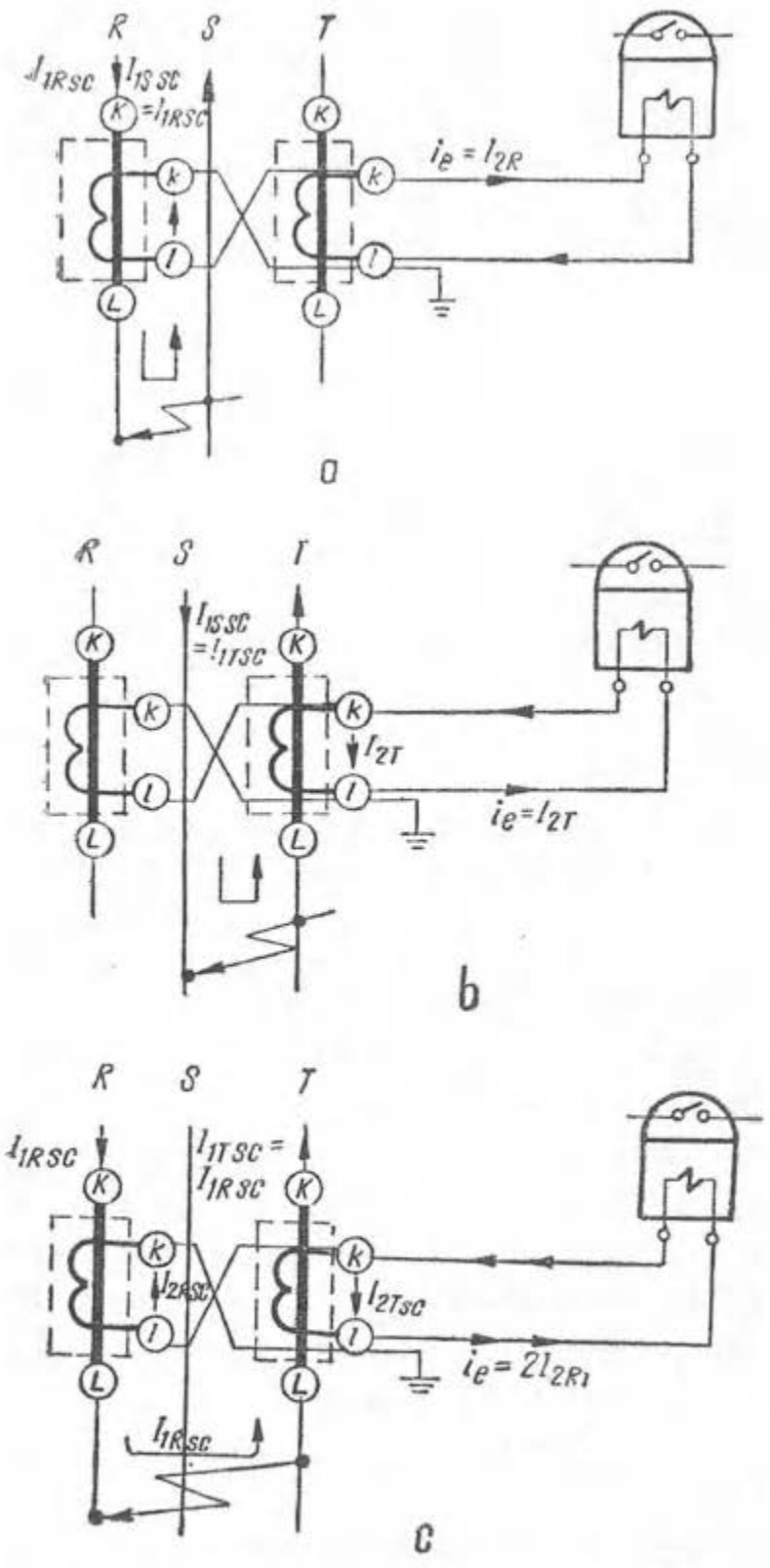



Fig. 4.16. Circulația curenților în circuitul secundar exterior alimentat de schema în opt, în regimul de scurtcircuit al rețelei: *a* — scurtcircuit bifazat *RS*; *b* — scurtcircuit bifazat *ST*; *c* — scurtcircuit bifazat *RT*.

### 4.3.6. *Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în serie*

Această schemă de conexiuni (fig. 4.17) se folosește în mod frecvent în cazul transformatoarelor de curent incluse în izolatoarele întreruptoarelor cu ulei IU-35. Se observă

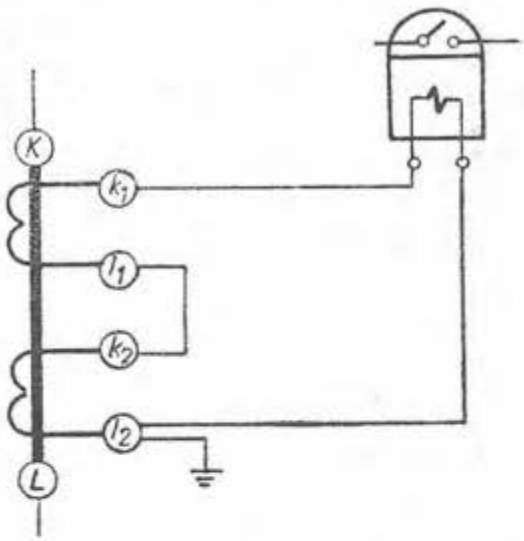



Fig. 4.17. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent legate în serie.

că secundarele de pe aceeași fază s-au legat în serie (borna *l* a primului secundar cu borna *k* a celui de-al doilea secundar), fapt pentru care sarcina ce revine fiecăruia dintre ele este de numai 50% din sarcina secundară totală. Prin această schemă se poate mări deci sarcina secundară utilă.

### 4.3.7. *Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în paralel*

La această schemă se leagă bornele secundare de același nume împreună și releul se conectează la bornele unuia dintre cele două secundare. Executînd conexiunea din fig. 4.18, raportul de transformare se micșorează de două ori față de cazul unui singur transformator, iar sarcina ce revine fiecăruia dintre secundare crește la dublu.

Această schemă se folosește în cazurile în care dorim să obținem un raport de transformare micșorat de două ori față de cazul cînd avem un singur transformator (de exemplu, legînd ca în fig. 4.18 două transformatoare de

75/5 A, se obține raportul nestandardizat de 37,5/5 A). De asemenea se poate folosi în cazul cînd dorim să realizăm puteri mari cu ajutorul transformatoarelor avînd raporturi de transformare mici. De exemplu, în loc să se folosească

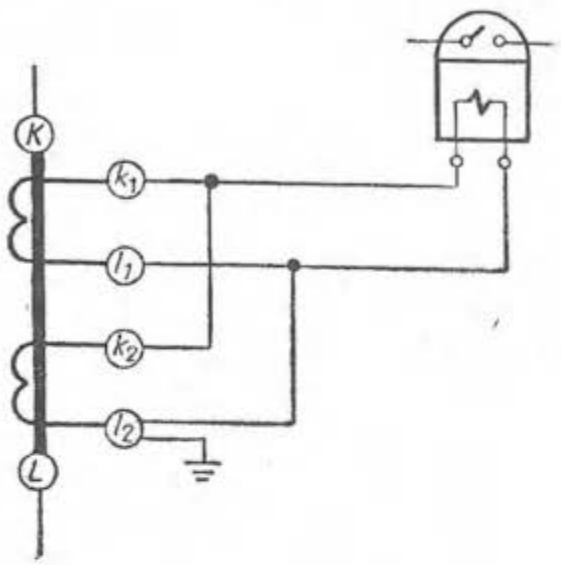



Fig. 4.18. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent legate în paralel.

un transformator cu raportul 50/5 A, care are o anumită putere (insuficientă pentru o situație determinată) se pot folosi două transformatoare cu raportul 50/2,5 A, care vor avea o putere dublă și un raport de 50/5 A.

# 5. Verificări și încercări ale transformatoarelor de măsură

## 5.1. Noțiuni generale

Transformatoarele de măsură, ca și restul echipamentului electric, sînt supuse în timpul funcționării la o serie de solicitări (electrice, termice, electrodinamice, întreruperi etc.), pe care acestea trebuie să le suporte în bune condiții. De aceea, asupra lor se fac o serie de măsurări, verificări și încercări, dintre care unele în laboratoarele întreprinderilor constructoare și institutelor de cercetări,

iar altele în exploatare. Probele la care se supun trebuie să reproducă cît mai fidel solicitările şi condiţiile pe care transformatoarele de măsură le întîlnesc la funcţionarea în sarcină.

Grupa de încercări ce se execută de laboratoarele întreprinderilor constructoare are rolul de a verifica dacă transformatoarele fabricate corespund proiectului, normelor şi standardelor prin care se impun caracteristicile acestora, condiţiilor pe care ele trebuie să le îndeplinească şi solicitărilor pe care trebuie să le suporte.

Grupa probelor de punere în funcţiune precum şi a celor preventive (profilactice), ce se execută periodic în exploatare, are rolul de a ne ajuta ca pe baza rezultatelor obţinute la măsurări să putem stabili starea transformatorului respectiv. Din interpretarea tehnică corectă a datelor obţinute la această categorie de încercări se pot trage concluzii pe baza cărora se hotărăşte rămînerea în continuare a transformatorului de măsură în funcţiune sau, dacă este necesară, scoaterea lui pentru reparaţie.

Pentru stabilirea stării izolaţiei transformatoarelor de măsură se fac mai multe încercări, ce pot fi grupate în două mari categorii:

— Încercări nedistructive ale izolaţiei, care să nu modifice comportarea normală a dielectricului şi care cuprind: măsurarea rezistenţei de izolaţie, a tangentei unghiului de pierderi dielectrice, a capacităţii dielectricului etc. Aceste încercări se fac în scopul de a stabili dacă izolaţia transformatorului este corespunzător uscată, dacă nu există defecte care să favorizeze descărcarea şi străpungerea ei etc.

— Încercări distructive ale izolaţiei transformatoarelor de măsură, care cuprind: încercarea cu tensiune alternativă mărită sinusoidală (50 Hz) şi încercarea la tensiune de impuls.

Se menţionează că măsurarea rezistenţei de izolaţie poate fi o probă distructivă pentru aparatajul de joasă tensiune. Aceste încercări se fac în scopul de a verifica starea nivelului de izolaţie al transformatoarelor, pentru a stabili dacă el suportă cele mai grele solicitări la care poate fi supus într-o anumită reţea dată. Volumul de verificări şi încercări necesare a se efectua asupra transformatoarelor

de măsură este stabilit prin instrucțiunile întreprinderii constructoare și în baza instrucțiunilor indicate la [26; 27; 28; 29 și 30]. Se precizează că probele asupra transformatoarelor ce se află în exploatare se efectuează la fața locului, în condițiile indicate în capitolele respective. În laborator sînt aduse pentru verificare și încercare numai acele transformatoare de măsură care prezintă dubii în privința stării lor corespunzătoare, precum și cele noi sau cele ieșite din reparație.

## 5.2. Verificarea aspectului exterior

Această verificare este necesar a se realiza atît înainte de montare, pentru punerea în funcțiune, cît și în perioada de exploatare, cel puțin o dată la 8 ore (verificările de la punctele *a* și *e*). Verificarea constă în următoarele:

a. Examinarea integrității cuvei transformatorului și a etanșeității acesteia, respectiv a masei izolante. Nu sînt admise pierderile de ulei la transformatoarele cu izolație în ulei.

b. Examinarea nivelului uleiului din cuva transformatorului (prin sticla de nivel). Uleiul trebuie menținut în permanență la nivel, prin completare, mai ales în perioada friguroasă, cînd, datorită răcirii mediului ambiant, nivelul de ulei scade. Dacă la revizii se constată că din cuva transformatorului de măsură lipsește mai mult de 25% din volumul total de ulei, acesta este scos din funcțiune și introdus la uscat, după care se completează cu ulei, sub vid.

c. Verificarea integrității izolatoarelor.

d. Examinarea stării de curățenie generală a transformatorului.

e. Verificarea modului de funcționare în scopul de a stabili dacă transformatoarele de măsură nu prezintă zgomote anormale în funcționare. În cazul în care se constată astfel de zgomote (specifice descărcărilor, sau de altă natură), acestea trebuie scoase din funcțiune și supuse măsurărilor, în vederea depistării defectului.

f. La punerea în funcţiune se verifică poziţia transformatoarelor; în cazul transformatoarelor cu ulei, acestea se montează în poziţie verticală.

g. Verificarea stării corespunzătoare a bornelor.

h. Verificarea stării corespunzătoare a legăturilor de contact la borne. O legătură de contact necorespunzătoare se observă, în exploatare, prin schimbarea culorii acesteia în zona contactului slab.

i. Verificarea stării instalaţiei fixe de legare la pămînt. Fiecare transformator se leagă la instalaţia de pămîntare prin şurubul de legare la pămînt, special prevăzut de întreprinderea constructoare.

j. Existenţa plombei şi a mărcii verificării de stat şi dacă nu a expirat termenul de verificare.

k. Existenţa notării clare a tuturor bornelor şi a tăbliţei indicatoare.

l. Înainte de punerea în funcţiune cum şi după revizii şi reparaţii este obligatorie verificarea corectitudinii legăturilor în schema electrică. De asemenea se verifică în mod special transformatoarele de curent în sensul de a nu rămîne deschise înfăşurările secundare. Se menţionează că un secundar deschis determină zgomote anormale ale transformatorului de curent numai cînd aparatul este parcurs de un curent apropiat ca valoare de curentul nominal primar.

Toate abaterile ce se constată cu ocazia verificării aspectului exterior se consemnează în registrul de tură sau de control, pentru a se lua imediat măsurile în consecinţă.

## 5.3. Încercarea uleiului din transformatoarele de măsură

Uleiul de transformator este un material electroizolant lichid, ce se obţine prin distilarea ţiţeiului. Tipurile de uleiuri de transformator produse la noi în ţară sînt: 2004; 2004 A; 2005 şi 2005 A (STAS 811-61). Nu se pot amesteca uleiurile 2004 cu 2005. În unele transformatoare de măsură ca şi în cele de forţă, uleiul are rolul de material electroizolant (umple porii izolaţiei, completează golurile din piesele izolante şi preia o parte din acţiunea cîmpului elec-

tric), cum şi de mediu de răcire (transportă căldura de la bobinaj şi miez spre cuvă, de unde o cedează mediului ambiant).

Datorită faptului că sub acţiunea unor solicitări la care este supus în exploatare uleiul de transformator îmbătrîneşte (se alterează), el trebuie supus la o serie de probe, verificări şi încercări periodice, prin care se determină dacă mai poate fi folosit sau trebuie înlocuit. Încercările la care trebuie supus uleiul de transformator se pot grupa în trei mari categorii, şi anume:

1. Controlul curent al uleiului, care cuprinde:
— determinarea conţinutului de apă;
— controlul mirosului uleiului (calitativ);
— controlul limpezirii uleiului (calitativ);
— controlul transparenţei uleiului (calitativ);
— determinarea rigidităţii dielectrice a uleiului;
— determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice a uleiului.

2. Analiza redusă, care, pe lîngă determinările prevăzute la controlul curent, mai cuprinde şi următoarele:
— determinarea culorii uleiului;
— determinarea temperaturii de aprindere (punctului de inflamabilitate);
— determinarea indicelui de aciditate;
— efectuarea reacţiei extrasului apos;
— determinarea viscozităţii la 20°C;
— determinarea alcalinităţii;
— determinarea conţinutului de cenuşă;
— determinarea impurităţilor mecanice;
— determinarea punctului de anilină;
— determinarea punctului de congelare şi a conţinutului de cărbune.

3. Analiza completă a uleiului, care, pe lîngă determinările prevăzute la analiza redusă, mai cuprinde şi următoarele:
— determinarea greutăţii specifice la 20°C;
— determinarea indicelui de refracţie;
— determinarea prezenţei sau lipsei inhibitorilor;
— determinarea stabilităţii la oxidare;

— executarea probei Natron la puneri în funcțiune (condițiile probei și valorile admisibile sînt stabilite prin Normatorul 3 E-1-67, tabelul 5.1).

*Tabelul 5.1*

**Periodicitatea efectuării probelor uleiului de transformator, conform normativului 3E-1-67**

| Felul uleiului | Felul aparatajului din care se iau probe și tensiunea lui nominală | Intervalul de timp la care se efetuează | | |
|---|---|---|---|---|
| | | analiza curentă | analiza redusă | analiza completă |
| Ulei de transformator nou în rezervă | — | 6 luni | 1 an | La umplerea sau la completarea aparatajului cu ulei |
| Ulei de transformator în exploatare | Aparataj cu $U_n \leqslant 10$ kV | — | 3 ani | |
| | Idem $U_n = 10 \ldots 35$ kV | 1 an | 3 ani | |
| | Idem $U_n > 35$ kV | 1 an | 1 an | |
| | Ulei de transformatoare capsulate | 2 ani | — | |
| | Ulei din izolatoarele de trecere | — | 1 an | |
| | Ulei din transformatoare și aparate ieșite din reparație capitală | — | După reparația capitală | |

Pentru efectuarea încercărilor este necesar ca personalul de exploatare al instalațiilor respective să ia și să pregătească probele de ulei din transformatoarele de măsură conform STAS 811-61, STAS 286-63 și STAS 41-65. Nerespectarea condițiilor impuse de STAS pentru luarea

probelor are ca urmare denaturarea rezultatelor încercării uleiului. În alte lucrări sînt descrise probele uleiurilor de transformator [1, 15 etc.].

## 5.4. Măsurarea rezistenței de izolație

### 5.4.1. *Noțiuni generale și aparatajul folosit*

Materialele dielectrice folosite în construcția echipamentului electric (inclusiv a transformatoarelor de măsură), nefiind perfect electroizolante, permit trecerea prin ele a unui curent electric, numit *curent de conducție* (de scurgere). Cu cît materialul electroizolant are o calitate mai bună cu atît curentul de conducție va fi mai mic, iar rezistența electrică opusă de izolant trecerii lui va fi mai mare. Curentul de conducție, dat de expresia

$$I_{cd} = \frac{U}{R_s + R_v} = \frac{U}{R_{iz}}, \qquad (5.1)$$

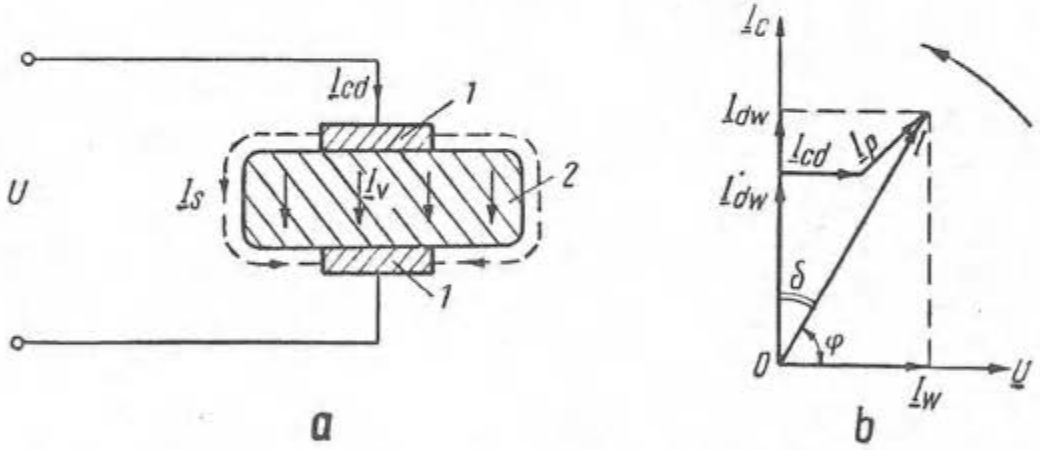



Fig. 5.1. Trecerea curentului prin materiale electroizolante: *a* — trecerea curentului de conducție $I_{cd}$ prin materialul electroizolant *2*, dintre armăturile metalice *1* supuse tensiunii *U*; *b* — diagrama fazorială pentru dielectricii tehnici; $I_{cd}$ — curentul de conducție; $I_p$ — curentul datorită polarizării dielectricului; $I'_{dw}$ — curentul capacitiv în cazul dielectricului perfect; *I* — curentul total prin dielectric, avînd componenta activă $I_w$ și componenta capacitivă $I_{dw}$.

are două componente (fig. 5.1, *a*):

— curentul $I_s$ pe suprafața dielectricului (numit curent superficial);

— curentul $I_v$ (de trecere) prin volumul materialului izolant.

Curentul de conducție prin materialul izolant are caracter activ (spre deosebire de curentul $I_p$, determinat de fenomenul de polarizare a dielectricului, care are atît caracter activ cît și capacitiv) și determină o pierdere de putere activă în materialul izolant (care se transformă în căldură), fapt ce duce la slăbirea proprietăților izolante ale materialului.

Ținînd cont de cele de mai sus, rezistența de izolație $R_{iz}$ se definește ca fiind rezistența electrică rezultată a lui $R_s$ și $R_v$, pe care o opune materialul izolant trecerii curentului $I_{cd}$. Rezistența de izolație a materialelor folosite în construcția echipamentului electric are o valoare de ordinul megohmilor (milioanelor de ohmi), dar poate slăbi în timpul exploatării transformatoarelor de măsură precum și în timpul depozitării acestora, datorită următoarelor cauze:

— umiditatea pe care izolația o absoarbe din mediul înconjurător;

— îmbătrînirea naturală sau forțată a izolației, determinată mai ales de încălzirea peste limitele admise;

— depunerile de impurități pe suprafața materialului izolant (praf, pilitură de fier, mucegai, vapori corosivi etc.).

Pentru a stabili dacă rezistența de izolație a transformatoarelor de măsură nu a scăzut sub anumite valori minime stabilite prin norme, este necesar ca după reparații, la punerea în funcțiune precum și periodic în exploatare, acestea să se măsoare. Aparatajul folosit pentru măsurarea rezistenței de izolație a transformatoarelor de măsură este următorul:

— megohmmetrul de 2 500 V (curent continuu) pentru izolația înfășurării de înaltă tensiune;

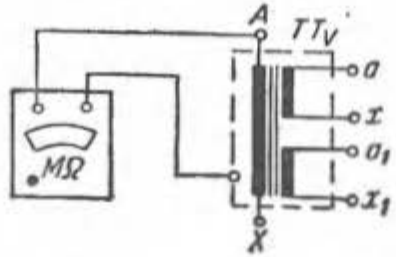
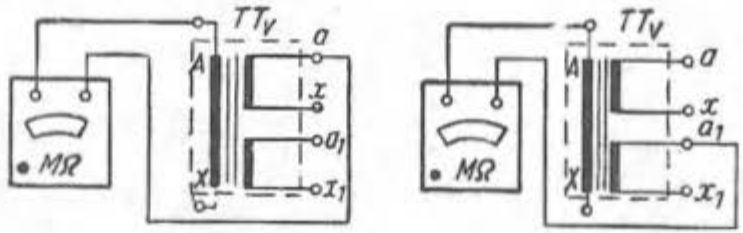
— megohmmetrul de 1 000 V (curent continuu) pentru izolația înfășurărilor secundare (joasă tensiune).

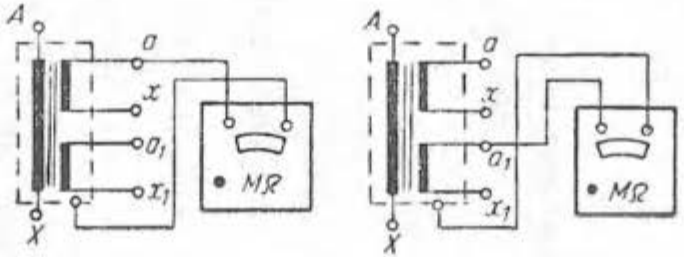
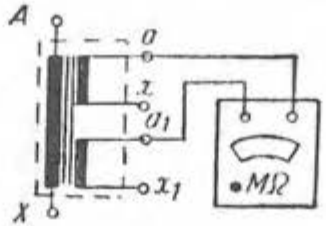
Înainte de efectuarea măsurării, starea megohmmetrului se verifică astfel:

— se învîrte manivela cu turația nominală sau se apasă butonul, megohmmetrul avînd bornele izolate; în acest caz,

*Tabelul 5.2*

**Scheme pentru verificarea rezistenței de izolație**

| Modul de aplicare a tensiunii generate de megohmmetru | Schema de montaj | Valoarea minimă a rezistenței de izolație pe care trebuie să o aibă transformatorul de măsură |
|---|---|---|
| Între înfășurarea de înaltă tensiune și cuva transformatorului de măsură |  | Rezistența de izolație măsurată trebuie să fie mai mare decît 70% din valoarea rezistenței de izolație inițială sau indicată de întreprinderea constructoare. În lipsa datelor întreprinderii constructoare, rezistența de izolație măsurate trebuie să fie mai mare sau egală cu valoarea din tabelul 5.3. |
| Între înfășurarea de înaltă tensiune și fiecare înfășurare de joasă tensiune |  | |

| | | |
|---|---|---|
| Între fiecare înfăşurare de joasă tensiune şi cuvă |   | Rezistenţa de izolaţie măsurată trebuie să fie mai mare decît 2 M Ω. |
| Între înfăşurările de joasă tensiune ale transformatorului |   | |
| Între jugul şi buloanele de strîngere a miezului de fier al transformatorului de măsură (cu megohmmetrul de 1 000 V). | | Rezistenţa de izolaţie măsurată trebuie să fie de cel puţin 70% din valoarea indicată de întreprinderea constructoare (sau din valorile iniţiale). |

el trebuie să indice valoarea infinit (în caz contrar se corectează);

— se scurtcircuitează bornele și se execută aceeași operație, la care megohmmetrul trebuie să indice valoarea zero.

### 5.4.2. *Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor transformatoarelor de măsură*

După pregătirea transformatoarelor de măsură și a megohmmetrului pentru verificare, se efectuează măsurările conform schemelor din tabelul 5.2. După executarea unuia din montajele din tabel, corespunzător măsurării ce se efectuează, se apasă butonul megohmmetrului (sau la tipul cu manivelă, aceasta se învîrte cu turația prescrisă) și se menține apăsat timp de 60 s. Valoarea indicată de megohmmetru după 60 s de la aplicarea tensiunii generate de el reprezintă valoarea rezistenței de izolație (tabelul 5.3).

*Tabelul 5.3*

**Valorile orientative minime admise ale $R_{iz}$ a înfășurării de înaltă tensiune, pentru transformatoarele de măsură [29]**

| Tensiunea nominală a înfășurării kV | Starea transformatorului de tensiune | Valorile medii de exploatare ale lui $R_{iz}$, în MΩ, la diverse temperaturi, în °C | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| $U_n \leqslant 10$ kV | După reparație | 5 400 | 3 700 | 1 700 | 810 | 450 |
| | În exploatare | 3 300 | 2 150 | 1 000 | 570 | 240 |
| $U_n = 10 \ldots 35$ kV | După reparație | 8 000 | 5 400 | 2 500 | 1 170 | 600 |
| | În exploatare | 4 800 | 3 250 | 1 450 | 700 | 360 |
| $U_n > 35$ kV | După reparație | 10 000 | 9 500 | 4 400 | 2 100 | 1 200 |
| | În exploatare | 8 400 | 5 400 | 2 400 | 1 200 | 900 |

Se recomandă ca în timpul măsurărilor megohmmetrul să fie aşezat în poziţie orizontală pe un material izolant uscat, iar conductoarele de legătură să aibă izolaţie tip magnetou şi să fie suspendate în aer fără a se atinge între ele sau de un corp în contact cu pămîntul. Măsurarea rezistenţei de izolaţie a înfăşurării de înaltă tensiune faţă de cuvă nu se poate face la transformatoarele de tensiune care au un capăt al acestei înfăşurări legat în interior la cuvă (cum este la TEMU-110).

### 5.5. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tg δ) al izolaţiei transformatoarelor de măsură

Această probă se efectuează la punerea în funcţiune, după schimbarea uleiului, după reparaţia capitală şi periodic o dată la doi ani în exploatare, la toate transformatoarele de măsură avînd tensiunea nominală de 220 kV şi mai mult.

După cum se ştie, orice material electroizolant ce se află într-un cîmp electric se încălzeşte datorită faptului că el nu este un izolant perfect. Dacă izolaţia ar fi perfectă, atunci curentul în ea ar fi pur capacitiv, adică defazat cu 90° înaintea tensiunii la care este supusă şi, în consecinţă, nu s-ar produce pierderi de energie activă. Avînd însă în vedere că în izolaţia folosită în electrotehnică se produc pierderi de energie activă, rezultă că pe lîngă componenta capacitivă $I_{dw}$ a curentului, în ea apare şi o componentă activă $I_w$ (corespunzătoare pierderii de energie activă), care se compune cu cea capacitivă, dînd un curent rezultant $I$ defazat faţă de tensiune nu cu 90° înainte, ci cu un unghi $\varphi$ mai mic de 90° (fig. 5.1, *b*). Unghiul $\delta$ (complimentar unghiului de defazaj $\varphi$), dintre componenta capacitivă a curentului $I_{dw}$ şi curentului rezultat $I$, se numeşte *unghi de pierderi dielectrice*, iar tangenta acestui unghi se numeşte *tangenta unghiului de pierderi dielectrice (tg δ)*. Se constată că unghiul de pierderi dielectrice, respectiv tg $\delta$, este cu atît mai mare cu cît puterea ce se transformă în căldură în dielectric (izolant) este mai mare, ceea ce în-

seamnă că izolația este cu atît mai slabă. Rezultă că tg $\delta$ caracterizează materialul electroizolant din punctul de vedere al pierderilor de energie.

Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tg $\delta$) și a capacității izolanților se face cu ajutorul punții Wheatstone în curent alternativ (fig. 5.2). Pe principiul acestei scheme este construită și puntea Schering, mult folosită în exploatare pentru măsurarea tg $\delta$ și a capacității atît la joasă tensiune cît și la înaltă tensiune. Această instalație prezintă avantajul că permite măsurarea pierderilor în dielectrici la tensiuni mari în timpul măsurării (pînă la 10 kV), precum și citirea directă a tg $\delta$. Funcționarea punții Schering se bazează pe principiul cunoscut, și anume că orice izolație supusă unui cîmp electric formează un condensator ce se poate reprezenta printr-un circuit echivalent cu rezistența și capacitatea legate în serie (fig. 5.3)

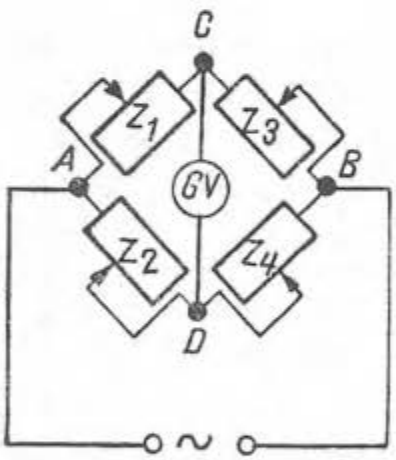



Fig. 5.2. Schema electrică de principiu a punții Wheatstone în curent alternativ: $Z_1$—$Z_4$ — impedanțe; *GV* — galvanometru.

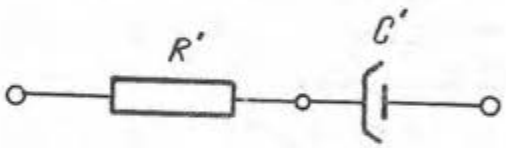



Fig. 5.3. Schema echivalentă a unui dielectric (legătura serie).

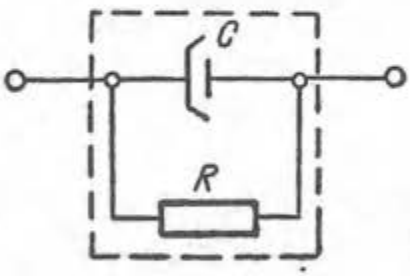



Fig. 5.4. Schema echivalentă a unui dielectric (legătura paralel).

sau în paralel (fig. 5.4). În instalațiile din țara noastră este mult utilizată puntea Schering portativă de gabarit mic, MD-16. Schema electrică a acestui tip de punte este reprezentată în fig. 5.5. După cum se vede din această schemă,

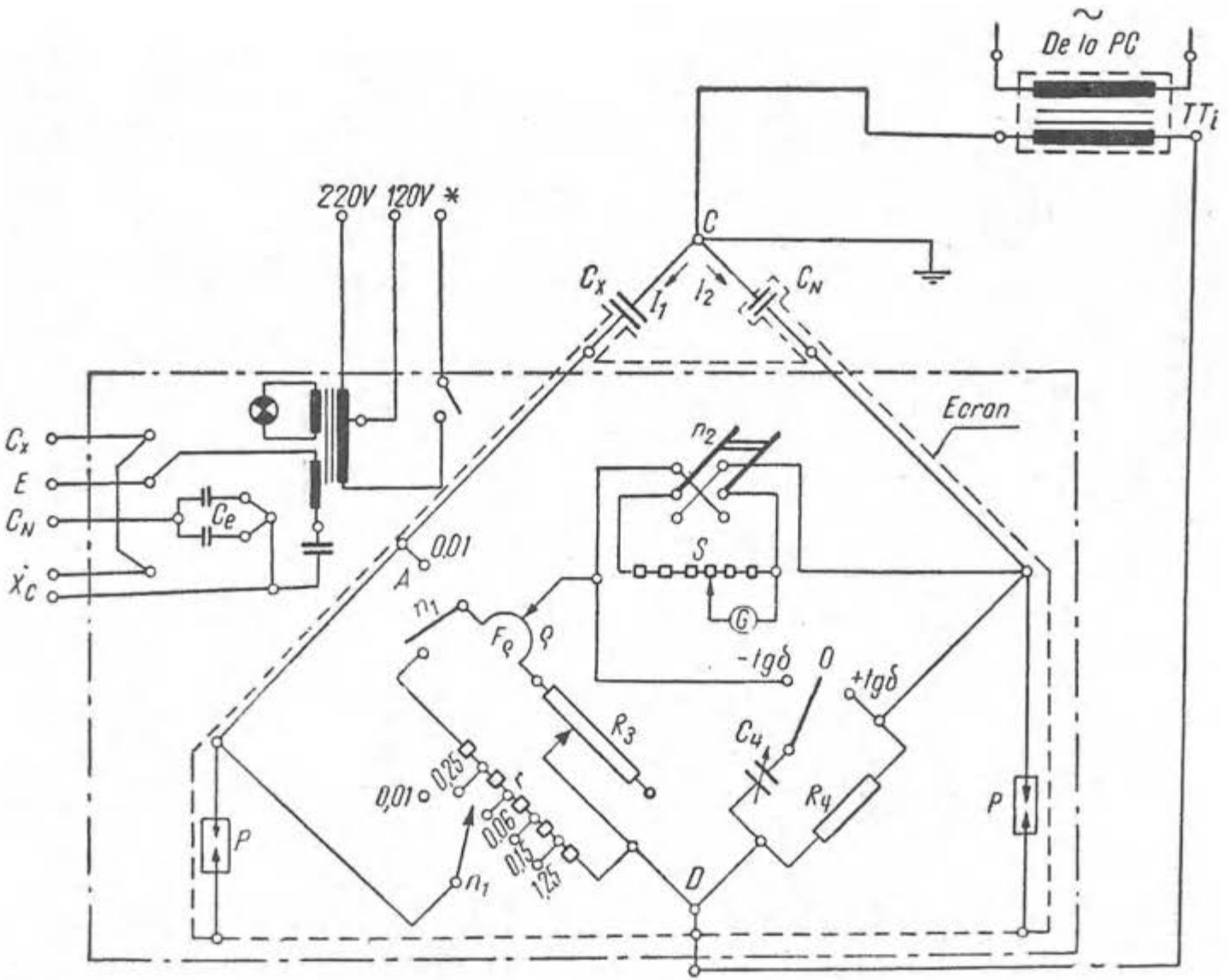



Fig. 5.5. Schema electrică a punții Schering de gabarit mic, tip MD-16.

puntea Schering tip MD-16 are următoarele părți componente:

1. Instalația de măsurare, montată într-o carcasă metalică, care cuprinde: cutia de rezistențe $R_3$ cu patru decade, precum și șuntul $r$ al rezistenței $R_3$, folosit pentru lărgirea limitelor de măsurare ale punții, la măsurarea capacităților mari; rezistența de reglaj fin $F_\varrho$, avînd reglajul $\rho = 0 \ldots 1{,}2\ \Omega$; cutia de capacități cu trei decade; galvanometrul $GV$ și iluminatorul; condensatoarele etalon $C_e$, pentru măsurarea echipamentului electric de joasă tensiune (cu eroare de $\pm 3\%$); comutatoarele de sensibilitate $n_1$ și $n_2$; comutatorul polarității, pentru conectarea galvanometrului (are pozițiile: zero; $+\mathrm{tg}\,\delta$ și $-\mathrm{tg}\,\delta$); descărcătoarele $P$; șuntul galvanometrului $S$, cu care se reglează sensibilitatea galvanometrului.

2. Condensatorul etalon $C_N$ de înaltă tensiune, separat de punte, avînd valoarea $C = 0{,}5 \cdot 10^{-4}\ \mu\mathrm{F}$.

3. Transformatorul de încercare $TT_i$, avînd raportul de 10/0,1 kV de tip TIBU-10 sau TIRB-10, care nu se livrează cu puntea.

4. Pupitrul de comandă și reglare (fig. 5.6), care poate fi construit în atelierul electric al întreprinderii și cu ajutorul căruia se obține tensiunea variabilă ce se aplică transformatorului de încercare $TT_i$.

Pupitrul se alimentează cu tensiunea rețelei (220 V c.a.) la bornele $P_1$ și $P_2$. Prezența tensiunii se constată prin aprinderea lămpii $L_P$. Pentru punerea în funcțiune a montajului este necesar să se apese butonul $BI$, care permite alimentarea bobinei $E_a$ a contactorului DITU cu tensiunea fazelor $ST$ (la faza $T$ fiind de fapt legat neutrul $N$ al rețelei). Bobina $E_a$ acționează închiderea contactelor principale și auxiliare ale contactorului DITU și astfel automatul se automenține. La închiderea contactelor contactorului DITU se aprinde lampa $L_A$, indicînd că întregul montaj se află sub tensiune și că se poate regla tensiunea de la zero la valoarea necesară determinării. Deconectarea contactorului DITU poate avea loc în situațiile următoare:

— prin apăsarea butonului $BD$, în mod voit;

— la suprasarcini de lungă durată, prin contactul $C_z$ acționat de releele termice $R_t$ ale contactorului DITU;

— prin releul de curent RC-1-3, în cazul depășirii valorii curentului reglat de acționare a releului.

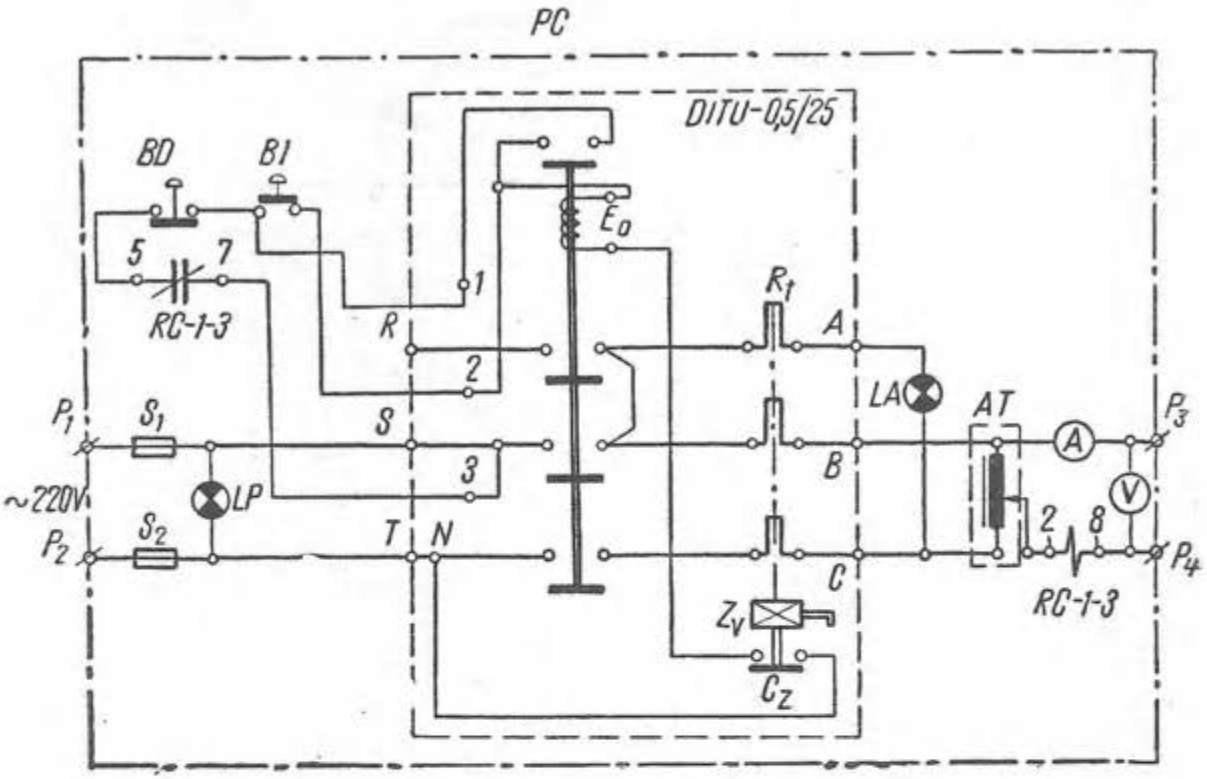



Fig. 5.6. Schema electrică a pupitrului de comandă:

$S_1$, $S_2$ — siguranțe fuzibile de 15 A; *BI* — buton de anclanșare; *BD* — buton de declanșare; *AT* — autotransformator; RC—1—3 — releu de curent cu scală; *LP* și *LA* — lămpi de semnalizare; *V* — voltmetru; *A* — ampermetru; $E_a$ — bobina contactorului DITU; $R_t$ — releu termic; $C_z$ — contactul releului.

Montajul punții Schering (în vederea efectuării măsurărilor) se poate face în două feluri:

— cu schema normală (fig. 5.7);

— cu schemă inversă (fig. 5.8).

Schema normală se utilizează în cazurile în care toate înfășurările transformatorului ce se încearcă sînt izolate între ele și față de pămînt. Ea dă rezultate mai precise decît schema inversă.

În cazul transformatoarelor de măsură nu se utilizează această schemă, deoarece ele posedă o singură înfășurare de înaltă tensiune, ci se folosește montajul punții în schemă inversă, cu excepția acelor transformatoare de

măsură care au un capăt al înfăşurării de înaltă tensiune legat direct de masă.

Pentru efectuarea practică a măsurărilor tg $\delta$ şi a capacităţii izolaţiei unui transformator de măsură de înaltă ten-

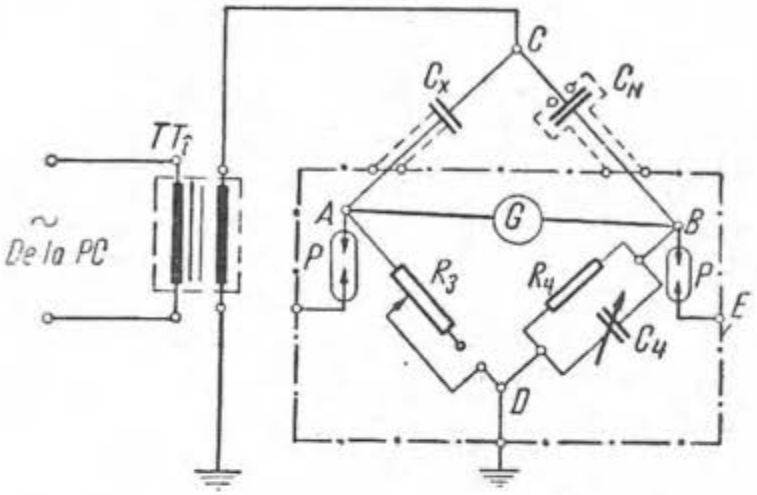



Fig. 5.7. Montajul în schema normală al punţii Schering de tip MD-16.

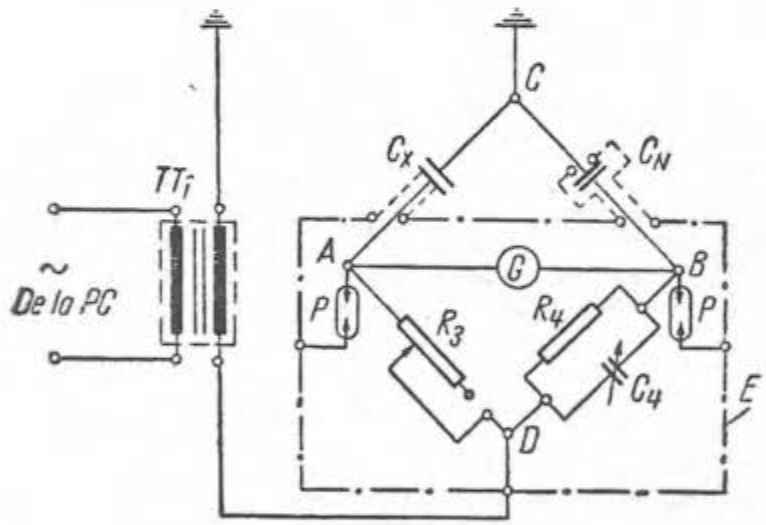



Fig. 5.8. Montajul în schema inversă al punţii Schering de tip MD-16.

siune se execută montajul din fig. 5.9 (în schema inversă).

Pupitrul de comandă *PC* se amplasează lîngă puntea Schering, în aşa fel încît operatorul să poată regla tensiunea şi să citească indicaţiile ampermetrului şi voltmetrului de pe podeţul izolant. Măsurarea comportă următoarele operaţii:

— se verifică cu deosebită atenție corectitudinea legării la pămînt, indicată pe schema din fig. 5.9;

— se controlează ca firul ce merge de la transformatorul $TT_i$ la condensatorul etalon $C_N$, precum și toate cele

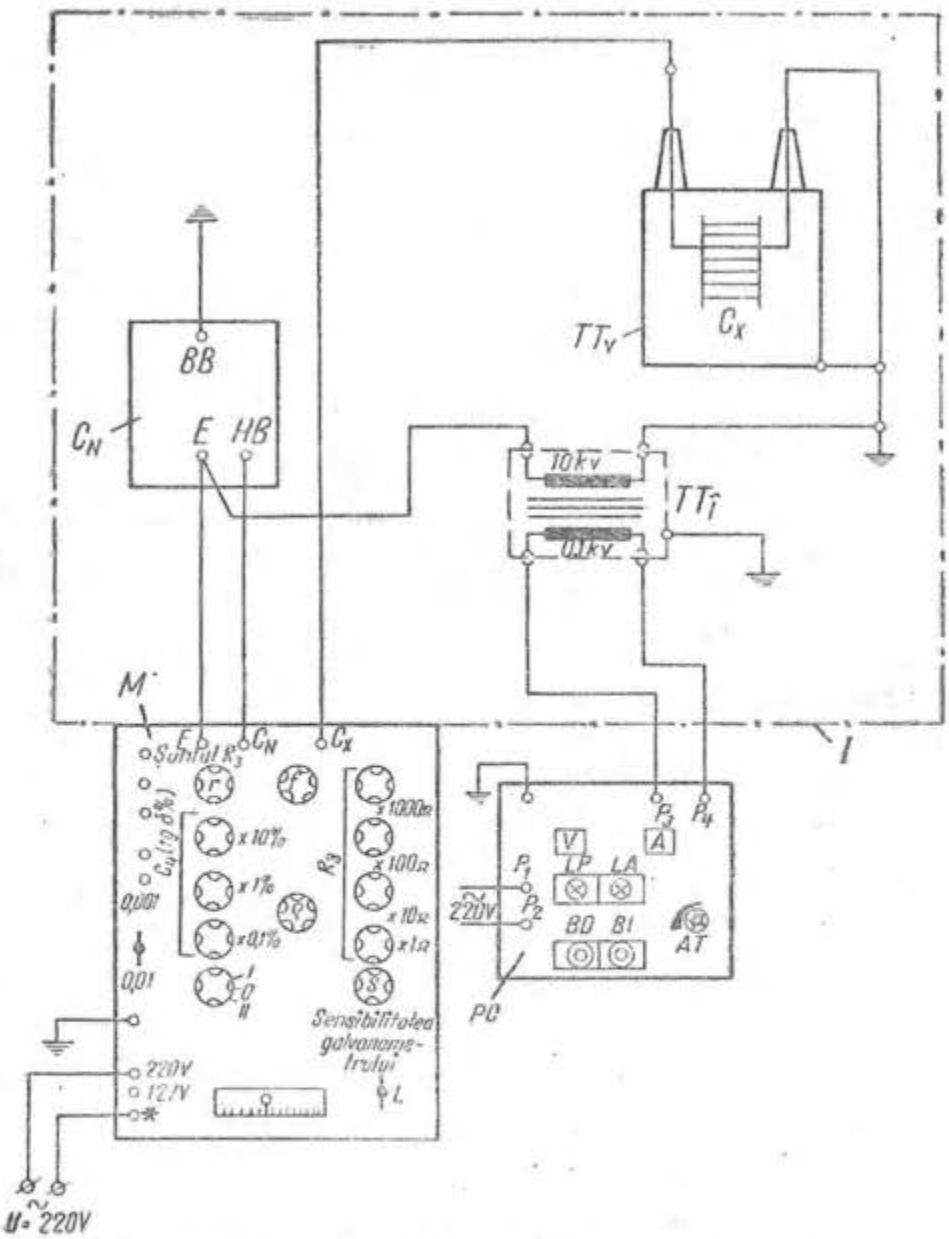



Fig. 5.9. Schema de montaj a punții Schering de tip MD-16, folosită la măsurarea tg δ și a capacității transformatoarelor de măsură de înaltă tensiune:

*M* — instalația de măsură a punții Schering MD-16; $C_N$ — condensatorul etalon, plasat pe un podeț izolat; $TT_v$ — transformatorul de măsură supus verificării; $TT_i$ — transformatorul de încercare; *PC* — pupitrul de comandă și reglaj; *L* — întreruptor pentru iluminatul galvanometrului *GV*; *I* — îngrădire mobilă de protecție; $C_x$ — capacitatea unei înfășurări a transformatorului față de celelalte înfășurări legate la cuvă și masă.

trei fire ce pleacă de la punte să nu se atingă de carcasa punţii sau de alte obiecte legate la pămînt şi să aibă faţă de acestea o distanţă mai mare de 100—150 mm;

— din acest moment, montajul se consideră sub tensiune; *se interzice* apropierea altor persoane de instalaţie, cu excepţia operatorului, care se găseşte permanent pe podeţul izolant, echipat cu mănuşi şi cizme dielectrice;

— comutatoarele rezistenţei $R_3$, al lui $C_4$, al sensibilităţii $S$ şi al lui $\rho$ (v. fig. 5.5) fiind pe poziţia zero, iar comutatorul polarităţii pe poziţia $I(+\mathrm{tg}\delta)$ şi al şuntului $r$ pe poziţia corespunzătoare curentului presupus (conform tabelului 5.4), se aplică tensiunea prin apăsarea butonului *BI* de pe pupitrul *PC*.

*Tabelul 5.4*

**Capacitatea izolaţiei transformatorului în funcţie de poziţia comutatorului şuntului $r$ [31]**

| Poziţia comutatorului şuntului $r$ (curentul maxim admisibil, în A) | 1,25 | 0,15 | 0,06 | 0,025 | 0,01 |
|---|---|---|---|---|---|
| Valoarea rezistenţei $r$ şuntate, în Ω | 4 | 10 | 25 | 60 | ∞ |
| Capacitatea izolaţiei (cea mai mare la tensiunea de 10 kV), în μF | 0,40 | 0,048 | 0,0194 | 0,008 | 0,003 |

5. Autotransformatorul *AT* din *PC* fiind în poziţia zero, se manevrează ridicînd tensiunea lin pînă la valoarea tensiunii de încercare, care pentru transformatoarele de 220 kV şi mai mult este 10 kV. Voltmetrul *V* se citeşte ţinînd cont de raportul de transformare al transformatorului $TT_1$ (10 000 V/100 V=100). În timpul ridicării tensiunii, precum şi în timpul măsurării, operatorul trebuie să fie gata să decupleze tensiunea imediat ce apar fenomene anormale (străpungerea, conturnarea izolaţiei, zgomote anormale sau apariţia unui om în zona instalaţiei).

6. Se învîrte comutatorul *S* de la zero, succesiv pe cîte una din poziţiile următoare, pînă cînd fasciculul de lumină are o lăţime de circa 1,5 cm.

7. Se roteşte mînerul pînă cînd se obţine lăţimea maximă a fasciculului de lumină. Dacă fasciculul ocupă scala aproape în întregime, se aduce comutatorul $S$ pe o poziţie inferioară (spre zero).

8. Se introduce treptat rezistenţa $R_3$, pînă cînd fasciculul îşi reduce lăţimea la minimum.

9. Se trece $S$ pe o poziţie superioară, crescînd prin aceasta lăţimea fasciculului, după care din nou se reglează $R_3$ pînă cînd pentru noua poziţie a lui $S$ se obţine lăţimea minimă. Se procedează în acelaşi mod comutînd mînerul $S$ pe poziţii superioare. Schimbarea poziţiei lui S alternează permanent cu reglarea lui $R$, atît timp cît reglarea lui $R_3$ în continuare duce la îngustarea fasciculului.

10. În această situaţie de minim pentru rezistenţe, se trece la reglarea capacităţii $C_4$ (din mînerele notate pe schema aparatului cu tg $\delta$, respectiv cu $C_4$) şi se alege acea valoare a ei pentru care fasciculul se mai micşorează.

11. Se comută din nou mînerul $S$ pe poziţii superioare, alternînd cu reglarea lui $R_3$ şi $C_4$, procedînd ca mai sus, pînă se ajunge la sensibilitatea maximă ($S$ pe poziţia *10*) şi la lăţimea minimă a fasciculului.

12. La ultimele faze de echilibrare a punţii (adică de micşorare a lăţimii fasciculului pînă ce devine o linie) se uzează de reglajul rezistenţei fine $F_\varrho$.

13. Se roteşte mînerul reglajului de frecvenţă pînă ce lăţimea fasciculului devine maximă, după care se echilibrează din nou puntea ca mai sus.

14. Se notează valorile lui $R_3$, $F_\varrho$ şi tg $\rho$, precum şi poziţia comutatorului şuntului.

15. Se aduce comutatorul $S$ de pe poziţia *10* pe poziţia zero, după care se readuc la zero mînerele lui $R_3$ şi $C_4$. Se coboară tensiunea la zero din mînerul *AT* de pe *PC* şi se apasă butonul *BD*. Se scoate apoi cordonul de alimentare a lui *PC* din priză. Cu ajutorul unei prăjini electroizolante se aplică pămîntarea mobilă pe borna de înaltă tensiune a lui $TT_1$, după care se poate desface montajul.

Valoarea lui tg $\delta$ este chiar valoarea lui tg $\delta$ în procente, notată la punctul *14*, şi care se citeşte direct. Se

poate calcula capacitatea formată de transformatorul verificat $TT_i$, cu relația

$$C_X = C_N \frac{R_4 (R_3 + 100)}{r (R_3 + \varrho)}. \qquad (5.2)$$

În cazul cînd șuntul a fost fixat pe timpul măsurării la poziția de 0,01 A, capacitatea se calculează cu relația

$$C_X = C_N \frac{R_4}{(R_3 + \varrho)}, \qquad (5.3)$$

în care $C_N$ este capacitatea condensatorului etalon, egală cu $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ μF, iar $R_4 = \frac{10\,000}{\pi} = 3\,184\ \Omega$ ($R_3$ și $\varrho$ sînt valorile măsurate, iar $r$ este valoarea luată din tabelul 5.4).

Transformatoarele de măsură se consideră corespunzătoare din punctul de vedere al lui tg δ și al capacității, dacă valorile obținute prin măsurări corespund cu valorile date de întreprinderea constructoare sau cu valorile inițiale.

## 5.6. Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială

### 5.6.1. *Noțiuni generale*

Încercarea cu tensiune alternativă mărită, de frecvență industrială, a transformatoarelor de măsură, face parte din grupa încercărilor distructive ale izolației, care se face în scopul de a verifica nivelul de izolație a acestora, cum și stabilitatea izolației. Nivelul de izolație al transformatoarelor de măsură — ca de altfel al oricărui echipament electric — cuprinde toate izolațiile solide și fluide ale acestora, inclusiv izolația prin distanțele de separație în aer liber a pieselor conductoare avînd potențiale diferite. Nivelul de izolație al transformatoarelor de măsură se caracterizează prin:

— valoarea tensiunii alternative de frecvență industrială (50 Hz), aplicată transformatorului de măsură timp

de un minut, la care fiecare tip de transformator trebuie să reziste în condițiile prescrise de norme);

— valoarea amplitudinii de impuls, numită și *nivel de ținere la impuls*.

### 5.6.2. *Efectuarea încercărilor*

Înfășurarea primară a transformatoarelor de tensiune poate fi încercată la tensiunea alternativă sinusoidală mărită (avînd frecvența 50 Hz) prin două metode, și anume:

—metoda tensiunii aplicate;

— metoda tensiunii induse.

Încercarea cu tensiune mărită indiferent de metoda aplicată se face la punerea în funcțiune a transformatoarelor de tensiune, după reparația înfășurării și periodic în exploatare, conform instrucțiunilor tehnice interne, care țin cont de importanța instalației în care este montat transformatorul de tensiune (de exemplu o dată la trei ani). Pentru transformatoarele de tensiune avînd $U_n > 35$ kV, încercarea cu tensiune alternativă mărită este o probă facultativă [29]. În orice caz, înainte de a se efectua proba cu tensiune alternativă mărită, trebuie să avem deja rezultatele corespunzătoare de la verificarea rezistenței de izolație, de la verificarea uleiului și valoarea tg $\delta$ a transformatorului respectiv.

Încercarea transformatoarelor de curent se face numai prin metoda tensiunii aplicate.

**Metoda tensiunii aplicate** constă în a supune izolația transformatorului de măsură unei tensiuni de valoare prescrisă, luată de la o sursă reglabilă de tensiune. Tensiunea de încercare se aplică înfășurării de înaltă tensiune, față de înfășurările de joasă tensiune legate la cuvă și pămînt, a transformatoarelor care nu au un capăt al înfășurării primare legat la pămînt. Pentru efectuarea încercării este necesar aparatajul montat ca în schema din fig. 5.10. Valorile tensiunii de încercare a transformatoarelor de măsură noi, precum și cele ce se aplică transformatoarelor din exploatare sînt indicate în tabelul 5.5. După verificarea corectitu-

dinii montajului din fig. 5.10 se trece la efectuarea încercării propriu-zise, care comportă următoarele operații:

— cu ajutorul mînerului *A* de pe pupitrul de comandă *PC* se ridică tensiunea pînă la maximum 50% din valoarea tensiunii de încercare indicată în tabelul 5.5

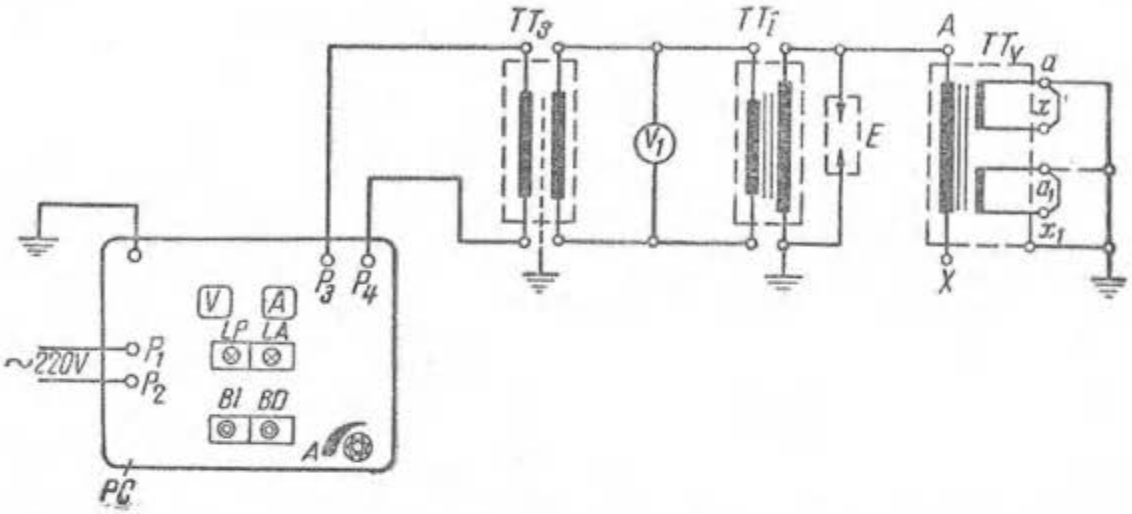



Fig. 5.10. Schema de montaj pentru încercarea transformatoarelor de măsură cu tensiune alternativă aplicată mărită:

*PC* — pupitrul de comandă; $TT_s$ — transformator de separare; $TT_i$ — transformator de încercare; $TT_s$ — transformator supus verificării; *E* — eclator.

*Tabelul 5.5*

**Valorile tensiunilor de încercare ce se aplică transformatoarelor de măsură noi sau celor din exploatare [26; 27 și 29]**

| Starea transformatoarelor de măsură | Valorile tensiunii de încercare $U_i$, în kV, în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 3 | 6 | 10 | 15 | 25 | 35 | 60 | 110 | 220 |
| Transformatoare de măsură noi (sau după reparație) | 3 | 21 | 27 | 35 | 45 | 65 | 85 | 140 | 185<br>230* | 395<br>460* |
| Transformatoare de măsură în exploatare | 2,4 | 16,8 | 21,6 | 28 | 36 | 52 | 68 | 112 | 148<br>185* | 316<br>368* |

* La transformatoarele de curent și de tensiune din rețelele cu neutrul nelegat la pămînt.

(adică 0,5 $U_i$), citită la voltmetrul $V_1$; după aceasta, cu ajutorul butonului *BD* de pe *PC* se deconectează montajul.

— se apasă pe butonul *BI* de pe *PC*, aplicînd astfel în mod brusc jumătate din tensiunea de încercare a transformatorului ce se verifică, $TT_v$;

— apoi se ridică în continuare tensiunea, astfel încît în cel puțin 10 s și cel mult 30 s să se ajungă la valoarea lui $U_i$;

— transformatorul $TT_v$ se ține sub tensiunea $U_i$ timp de un minut de la aplicarea acesteia, urmărindu-se dacă nu se produc străpungeri sau descărcări electrice;

— se scade tensiunea cu ajutorul lui *A* din *PC* pînă la valoarea zero, după care se deconectează;

— se pune transformatorul $TT_v$ la masă cu ajutorul unei prăjini izolante.

Transformatorul de tensiune verificat $TT_v$ se consideră corespunzător din acest punct de vedere, dacă a rezistat timp de un minut la tensiunea de încercare fără a se produce descărcări sau străpungeri, ce pot fi depistate vizual, auditiv sau prin deconectarea pupitrului de comandă la impulsul primit de protecția acestuia.

**Metoda tensiunii induse** constă în aplicarea unei tensiuni avînd frecvența de 50 Hz, la bornele secundare ale transformatorului de tensiune, astfel încît (ținînd cont de raportul de transformare al lui $TT_v$) în înfășurarea primară a acestuia să se obțină o tensiune indusă egală cu valoarea dată în tabelul 5.6 (care este în același timp și tensiunea de încercare a izolației între spire, în kV). Încercarea prin această metodă se face cu ajutorul montajului din fig. 5.11, metoda folosindu-se pentru transformatoarele avînd $U_n \geqslant$ 35 kV. Aceasta permite încercarea în același timp și a izolației dintre spirele înfășurării.

Pentru efectuarea încercării, tensiunea se ridică treptat cu ajutorul lui *AT* din *PC*, citind valoarea ei la voltmetrul $V_1$ și ținînd cont de raportul de transformare.

Transformatorul verificat se consideră corespunzător, dacă rezistă timp de un minut la tensiunea de încercare indicată în tabelul 5.6. În cazul cînd se dispune de aparataj de încercare corespunzător, se poate efectua încercarea cu

*Tabelul 5.6*

**Valorile tensiunii induse ce se aplică transformatoarelor [26 și 29]**

| Starea transformatoarelor $TT_v$ | Valoarea tensiunii de încercare $U_i$ în kV, în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 3 | 6 | 10 | 15 | 25 | 35 | 60 | 110 | 220 |
| Transformatoare de tensiune noi sau după reparație | 1,25 | 7,5 | 15 | 25 | 37,5 | 55 | 75 | 100 | 150<br>190* | 390<br>335* |
| Transformatoare de tensiune în exploatare | $U_i = (1{,}15 \ldots 1{,}3)\ U_{1n}$ | | | | | | | | | |

* Pentru transformatoarele din rețelele cu neutrul nelegat la pământ.

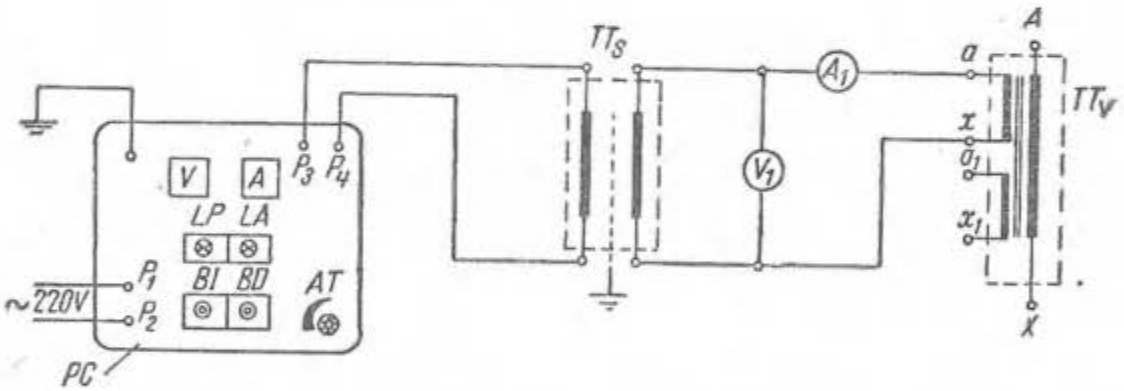



Fig. 5.11. Schema de montaj pentru încercarea transformatoarelor de măsură cu tensiune alternativă mărită, indusă:

**PC** — pupitrul de comandă și reglaj; $TT_s$ — transformator de separare; $V_1$ — voltmetru; $TT_v$ — transformatorul de măsură supus verificării; $A_1$ — ampermetru.

tensiunea alternativă mărită indusă, de frecvență 100—400 Hz, a înfășurării de înaltă tensiune (ca probă facultativă), valorile tensiunii de încercare fiind cele din tabelul 5.7.

Transformatorul se consideră corespunzător din punctul de vedere al acestei probe, dacă rezistă la $U_i$ indicată în

*Tabelul 5.7*

**Valorile tensiunii induse, cu frecvența de 100—400 *Hz*, ce se aplică transformatoarelor [29]**

| Starea transformatcarelor de verificat $TT_v$ | Valoarea tensiuni de încercare $U_i$, în kV în funcție de tensiunea nominală a transformatoarelor, în kV | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,5 | 3 | 6 | 10 | 15 | 25 | 35 | 60 | 110 | 220 |
| Transformatoare de tensiune noi sau după reparația înfășurărilor | Conform tabelului 5.6 | | | | | | | | | |
| Transformatoare de tensiune în exploatare | 1 | 6 | 12 | 20 | 30 | 44 | 60 | 80 | 120<br>152* | 312<br>268* |

* Pentru cazul cînd neutrul nu este legat efectiv la pămînt.

tabelul 5.7, fără să prezinte descărcări sau străpungeri la o durată de timp calculată cu relația

$$t_i = 300 \frac{100}{f_i} \geqslant 90 \text{ s}, \qquad (5.4)$$

unde $f_i$ este frecvența tensiunii de încercare;

$t_i$ — durata menținerii tensiunii de încercare.

Pe lîngă încercarea înfășurării primare, se supune încercării cu tensiune alternativă mărită ($f=50$ Hz) fiecare din înfășurările secundare ale transformatorului de tensiune, la punerea lui în funcțiune, după reparația înfășurărilor și în exploatare, periodic o dată la doi ani. Încercarea constă în aplicarea timp de un minut a tensiunii de încercare (care este de 2 kV pentru transformatoarele noi și cele ieșite din reparație, respectiv 1 kV pentru transformatoarele din exploatare), fiecărei înfășurări secundare față de celelalte înfășurări secundare și, înfășurarea primară legată la cuvă și pămînt (fig. 5.12). Pentru aplicarea tensiunii se procedează conform indicațiilor de mai sus. Transformatorul se consideră corespunzător, dacă suportă

tensiunea de încercare timp de un minut fără a se străpunge. Pe teren încercarea se poate face mai comod cu ajutorul trusei de 1 000 V, fabricată de IRME București (fig. 5.13).

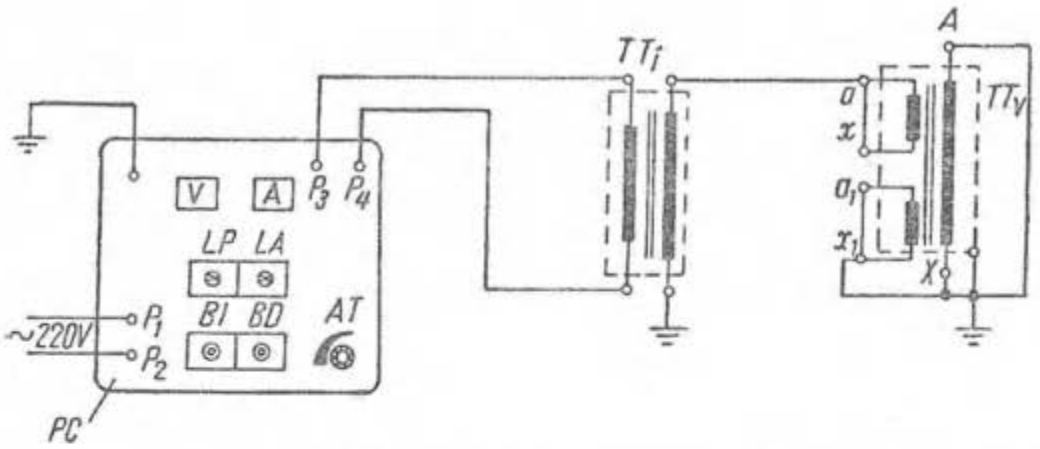



Fig. 5.12. Schema de montaj pentru încercarea cu tensiune alternativă mărită a înfășurărilor secundare ale transformatoarelor de măsură.

## 5.7. Încercarea izolației cu tensiune de impuls

În timpul funcționării, transformatoarele de măsură au de suportat solicitări electrice datorită supratensiunilor de frecvență industrială, provocate de fenomene de comutație, scurtcircuite, ruperi de conductoare, variații bruște de sarcină în rețea, precum și datorită supratensiunilor de origine atmosferică, provocate de descărcările atmosferice. Acestea din urmă apar sub forma unor unde unidirecționale de impuls, de scurtă durată (de ordinul microsecundelor), numite unde de impuls sau unde de șoc. Rezultatele obținute la încercarea cu tensiune alternativă mărită, de 50 Hz (subcap. 5.6) nu pot furniza informații asupra modului în care se va comporta aceeași izolație la solicitarea ei prin unda de impuls. Aceasta datorită faptului că fenomenele ce au loc în izolația transformatoarelor de măsură, la solicitările la care o supunem prin cele două încercări, sînt calitativ diferite. Solicitările la care este supusă izolația datorită supratensiunilor atmosferice nu pot fi reproduse în laborator prin nici o altă încercare în afară de încercarea la unda de impuls. Datorită acestui fapt se

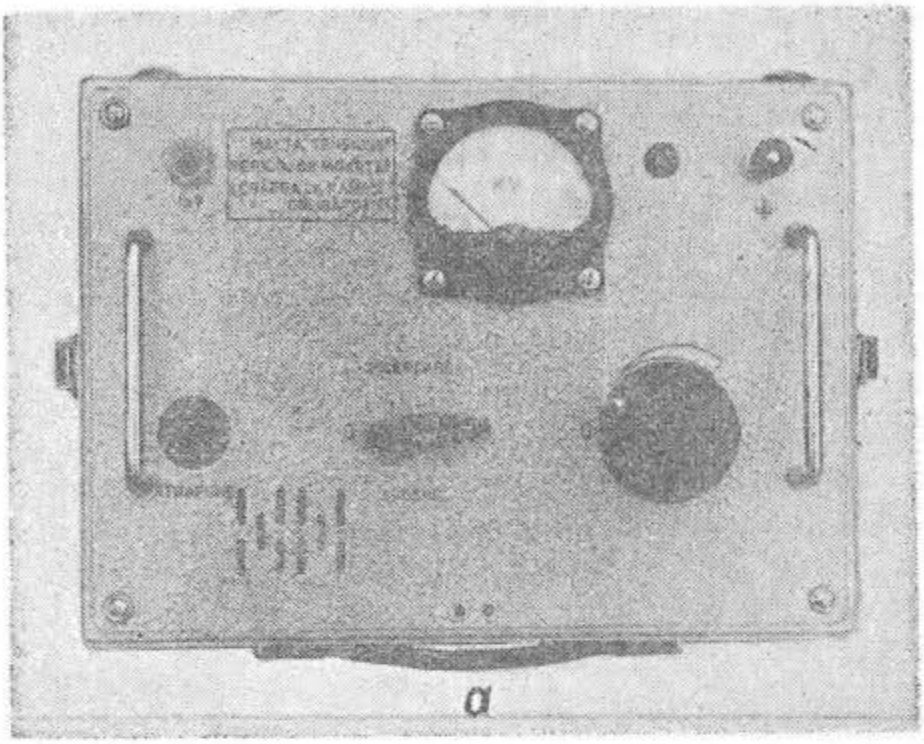



*Diagrama comutatorului K*

| Poziția manetei \ Nr. contactelor | 1-$P_1$ | 2-$P_2$ | 3-$P_3$ |
|---|---|---|---|
| Incercare | X | X | X |
| Zero | — | — | — |
| Ardere | X | X | — |

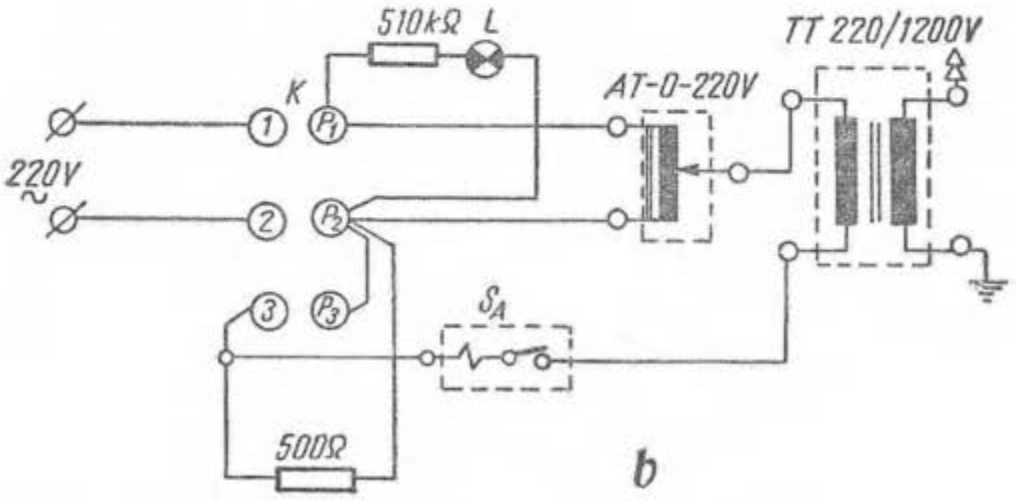



Fig. 5.13. Trusa IRME—1 000:
*a* — vederea frontală a trusei; *b* — schema electrică a trusei.

pune tot mai mult problema introducerii în nomenclatorul probelor și a încercării la unda de impuls. Acestea se pot produce în laborator cu ajutorul generatoarelor de impuls sau de șoc, constituite din condensatoare, generatoare electrostatice sau redresoare mecanice. Valoarea de vîrf a undei se consideră egală cu valoarea tensiunii de încercare (tabelul 5.8).

*Tabelul 5.8*

**Valorile tensiunii de încercare la unda de impuls [27]**

| Tensiunea nominală a transformatorului de încercat | 0,5 | 3 | 6 | 10 | 15 | 25 | 35 | 60 | 110 | 220 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tensiunea de încercare la unda de impuls de 1,2/50 μS, în kV | — | 45 | 60 | 75 | 95 | 150 | 195 | 325 | 450<br>550* | 900<br>1050* |

* La transformatoarele de curent și tensiune montate în rețele cînd neutrul nu este legat efectiv la pămînt.

Transformatoarele de măsură trebuie să suporte încercările la unde de impuls de ambele polarități, numărul de impulsuri fiind prescris (de exemplu cinci impulsuri de undă avînd amplitudinea indicată în tabelul 5.8, la care transformatorul nu trebuie să conturneze niciodată). Încercarea cu unda de impuls a transformatoarelor de măsură se face în întreprinderile constructoare și în exploatare, de către personalul cu înaltă calificare, special instruit în acest sens. Pentru încercările transformatoarelor din exploatare, există instalații de încercare mobile, montate pe autoremorci.

## 5.8. Măsurarea rezistenței înfășurărilor

### 5.8.1. *Noțiuni generale și metode de măsurare*

Această măsurare trebuie efectuată la punerea în funcțiune și cu ocazia reparației înfășurărilor transformatoarelor de măsură, în scopul de a stabili dacă legătura de con-

tact a capetelor înfășurărilor la borne este corespunzătoare (rezistență de contact mică), precum și de a verifica continuitatea înfășurărilor, în sensul ca acestea să nu aibă întrerupere. Rezistența de contact mare duce la încălzirea legăturii de contact, care favorizează oxidarea și în final întreruperea circuitului.

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor se poate face prin două metode, și anume: metoda volt-amper și metoda punții Wheatstone.

**Metoda volt-amper** constă în aplicarea unei tensiuni la bornele înfășurării respective și măsurarea tensiunii și a curentului absorbit de înfășurare (fig. 5.14). Rezistența înfășurării se obține din legea lui Ohm, prin împărțirea tensiunii măsurate la valoarea curentului măsurat ($r_x = \frac{U}{I}$).

**Metoda punții Wheatstone** folosește schema din fig. 5.15, care conține trei rezistențe ($r$, $r_1$, $r_2$), rezistența ohmică $r_x$ a înfășurării ce se măsoară și galvanometrul cu ac indicator $G$. Rezistențele $r$, $r_1$ și $r_2$ se pot regla în așa fel încît, la închiderea întreruptorului $K$ și a butonului $B$, prin galvanometru să nu treacă curent (puntea echilibrată). În acest caz, valoarea rezistenței $r_x$ ce se măsoară se calculează cu relația

$$r_x = r \frac{r_1}{r_2}, \tag{5.5}$$

valoare ce se poate citi direct pe punte. Datorită faptului că firele de legătură dintre punte și înfășurarea a cărei rezistență $r_x$ se măsoară, precum și rezistențele de contact ale acestor fire intră în brațul punții, înseamnă că valoarea

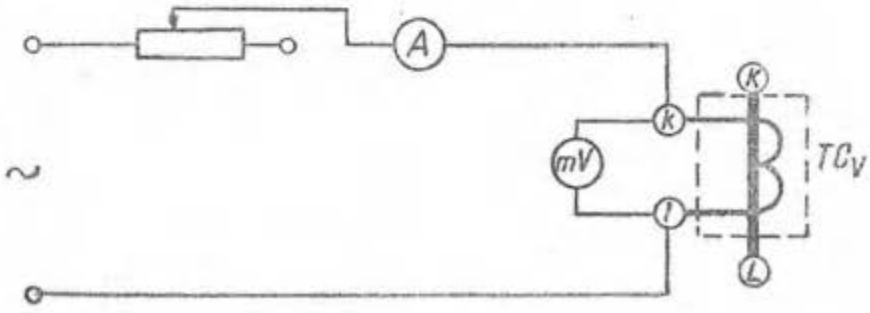



Fig. 5.14. Schema de montaj pentru măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor prin metoda voltmetru-ampermetru.

măsurată va conține și aceste rezistențe străine, adică va conține erori cu atît mai mari cu cît rezistența înfășurării măsurate va fi mai mică. Pentru eliminarea rezistențelor

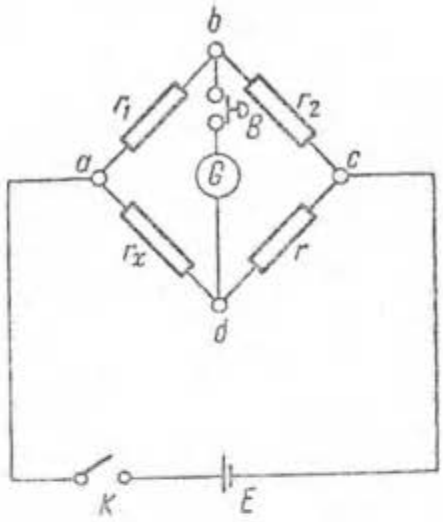



Fig. 5.15. Schema de principiu a punții Wheatstone.

introduse de cordoanele de legătură și de contactele lor, deci pentru eliminarea erorilor introduse de acestea, în cazul măsurării rezistențelor mici (înfășurările transformatoarelor de curent și înfășurările secundare ale transformatoarelor de tensiune) se utilizează puntea dublă, a cărei schemă electrică este redată principial în fig. 5.16.

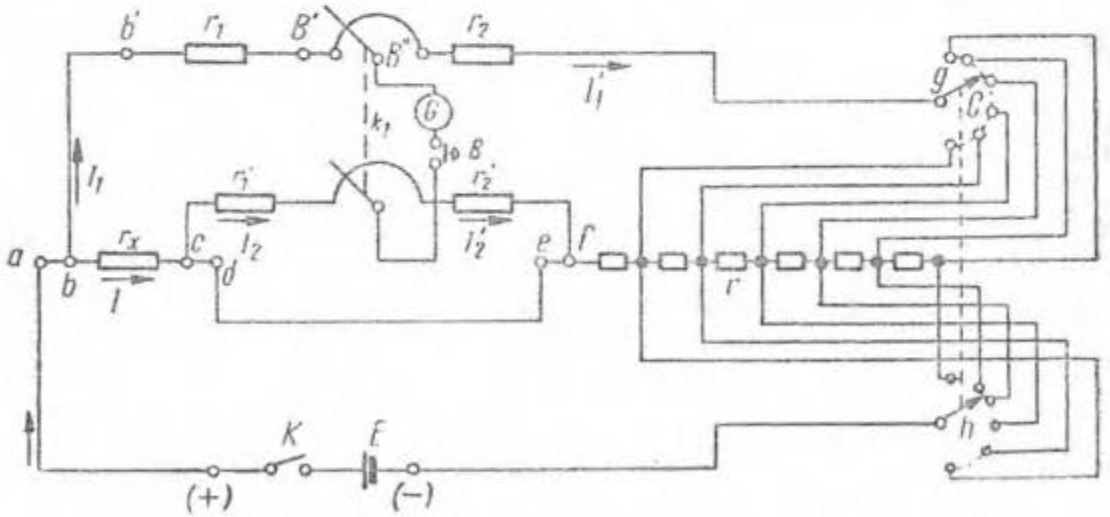



Fig. 5.16. Schema electrică a punții duble.

Cu ajutorul cursorului dublu $k_1$ al punții se reglează fin raportul $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r'_1}{r'_2}$, menținînd egalitățile $r_1 = r'_1$ și $r_2 = r'_2$ pentru o anumită poziție a comutatorului dublu $C$, care

alege treptele rezistenței în decade $r$. Din cursorul dublu $k_1$ se echilibrează deci puntea (se aduce acul galvanometrului la zero) pentru poziția fixă aleasă a comutatorului $C$. În acest caz rezistența necunoscută se obține din relația (5.5), în care $r$ este valoarea rezistenței citite pe poziția fixată la comutatorul $C$ în timpul măsurării, iar $r_1/r_2$ este valoarea citită la cursorul $K_1$ în momentul echilibrului punții. Se observă că la determinarea rezistenței necunoscute $r_x$ cu ajutorul acestei punți nu intervin erorile de măsurare datorite rezistenței cordoanelor de legătură și nici rezistențele de contact ale acestor cordoane, din următoarele motive:

— rezistențele de contact ale cordoanelor de legătură din punctele $b$, $b'$, $B'$ și $B''$, precum și rezistența ohmică a cordoanelor $bb'$ și $B'B''$ sînt infinit mici față de rezistența $r_1$, avînd valori de circa 10 Ω și deci se pot neglija față de aceasta (același lucru este valabil și pentru brațul în care se găsește $r_2$);

— rezistențele de contact din punctele $a$, $d$, $e$ și $h$ se găsesc în exteriorul rezistenței $r_x$ ce se măsoară, respectiv a lui $r$, adică în exteriorul punctelor $b\,c$ și $f\,g$, din care se ia căderea de tensiune pe rezistențele respective și se aplică galvanometrului, astfel încît ele nu influențează rezultatele măsurărilor. În practică se utilizează puntea simplă (Wheatstone), pentru măsurarea rezistenței înfășurării primare a transformatoarelor de tensiune, și puntea dublă (fig. 5.16), pentru măsurarea rezistenței înfășurărilor transformatoarelor de curent și tensiune, punți cunoscute și sub denumirea de *ohmmetre*.

### 5.8.2. *Efectuarea măsurărilor*

Pentru efectuarea măsurării rezistenței ohmice a înfășurării de înaltă tensiune a transformatorului de tensiune se utilizează puntea Wheatstone (puntea simplă), conform montajului din fig. 5.17. După efectuarea montajului, comutatorul $C$ se fixează pe o poziție avînd valoarea aproximativ de același ordin de mărime cu rezistența înfășurării primare a transformatorului de măsură (cursorul $C$ poate avea pozițiile 0,1; 1; 10; 100; 1 000). Măsurarea începe prin

fixarea comutatorului $C$ pe poziţia 100. Apoi se fixează cursorul $K_1$ pe poziţia zero şi se apasă butonul $B$. Dacă acul galvanometrului deviază spre stînga poziţiei de zero, se lasă butonul $B$ şi se fixează cursorul $K_1$ pe poziţia de rezistenţă maximă, după care se apasă din nou. Dacă de data aceasta acul deviază spre dreapta, se micşorează rezistenţa prin cursorul $K_1$ pînă ce acul revine la zero, menţinînd butonul $B$ apăsat (cînd puntea se consideră echilibrată). Dacă, spre exemplu, puntea s-a echilibrat la valoarea de 3 Ω a cursorului $K_1$, atunci rezistenţa înfăşurării transformatorului $TT_v$ ce se verifică va fi $r_x = 3 \cdot 100 = 300$ Ω.

În cazul cînd pe poziţia aleasă a comutatorului $C$, puntea nu poate fi echilibrată, trebuie aleasă o altă poziţie a acestuia. Pentru măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurărilor secundare ale transformatoarelor de măsură şi a înfăşurării primare a transformatoarelor de curent se procedează în acelaşi fel însă montajul folosit este altul, şi

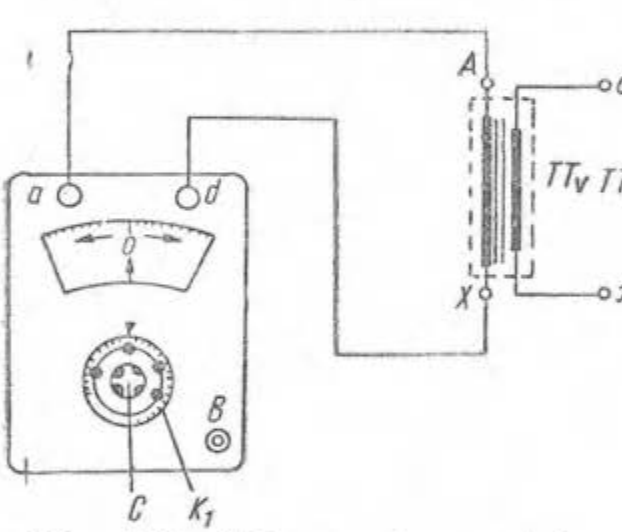



Fig. 5.17. Schema de montaj pentru măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurărilor cu puntea Wheatstone:

*P* — puntea simplă; $TT_v$ — transformatorul de măsură supus verificării.

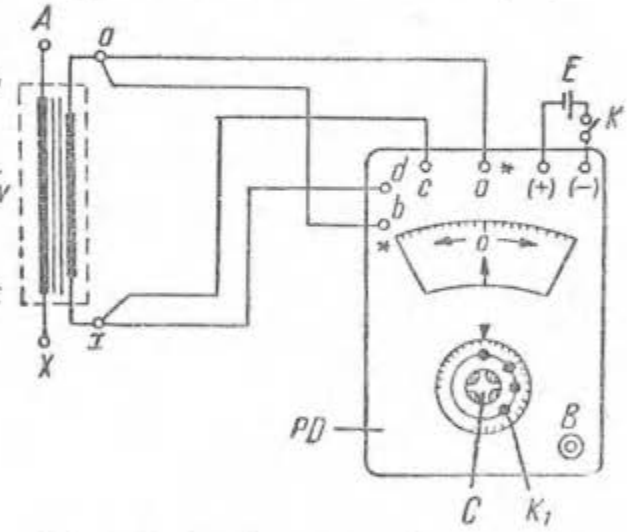



Fig. 5.18. Schema de montaj pentru măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurărilor cu puntea dublă:

*PD* — puntea dublă; $TT_v$ — transformatorul de măsură supus verificării.

anume cel din fig. 5.18, întrucît în acest caz se foloseşte puntea dublă.

Transformatoarele de măsură se consideră corespunzătoare din punctul de vedere al rezistenţei, în cazul cînd valorile măsurate nu diferă faţă de cele iniţiale sau indicate

de întreprinderea constructoare cu mai mult de 2%. La transformatoarele de tensiune trifazate mai este o condiție suplimentară, și anume ca rezistența diferitelor faze să nu difere cu mai mult de 2% între ele. Dacă puntea indică valoarea infinit, înseamnă că înfășurarea este întreruptă. În acest caz transformatorul trebuie decuvat și reparat în atelier. Dacă puntea indică o valoare exagerat de mică în comparație cu rezistența indicată de întreprinderea constructoare, înseamnă că înfășurarea are spire în scurtcircuit și transformatorul de asemenea trebuie introdus în reparație.

## 5.9. Determinarea polarității bornelor

### 5.9.1. *Noțiuni generale*

După cum s-a arătat în cap. 4, bornele transformatoarelor de măsură sînt marcate după anumite reguli, ce trebuie respectate cu stricteţe, acest lucru avînd o importanță deosebită mai ales în cazurile în care transformatoarele respective alimentează relee de putere (direcționale), scheme de protecție diferențială și de distanță, scheme de sincronizare din stații și centrale, wattmetre, varmetre, contoare de energie activă și reactivă.

În cazul cînd marcajul bornelor este greșit (inversat în urma unei reparații), instalațiile alimentate de transformatorul în cauză funcționează incorect. Pentru exemplificare, în fig. 5.19 s-a reprezentat o porțiune de rețea cuprinzînd sursele CTE-1 și CTE-2 și liniile electrice din stația $S_1$, cu întreruptoarele lor $I_1$, $I_2$, $I_3$ și $I_4$. Protecțiile liniilor avînd întreruptoarele $I_1$ și $I_2$ trebuie direcționate în sensul de a da declanșare întreruptoarelor respective atunci cînd apar scurtcircuite pe aceste linii (sensul indicat prin săgeți cu linie plină în interiorul releului). Pentru a funcționa în acest mod (în sensul săgeții) este necesar ca transformatorul de curent să fie astfel conectat încît la un defect pe linie (cînd energia se scurge de la bara stației $S_1$ spre linie), borna secundară polarizată $k$ să fie legată la borna polarizată a bobinei de curent a releului direcțional (bornele po-

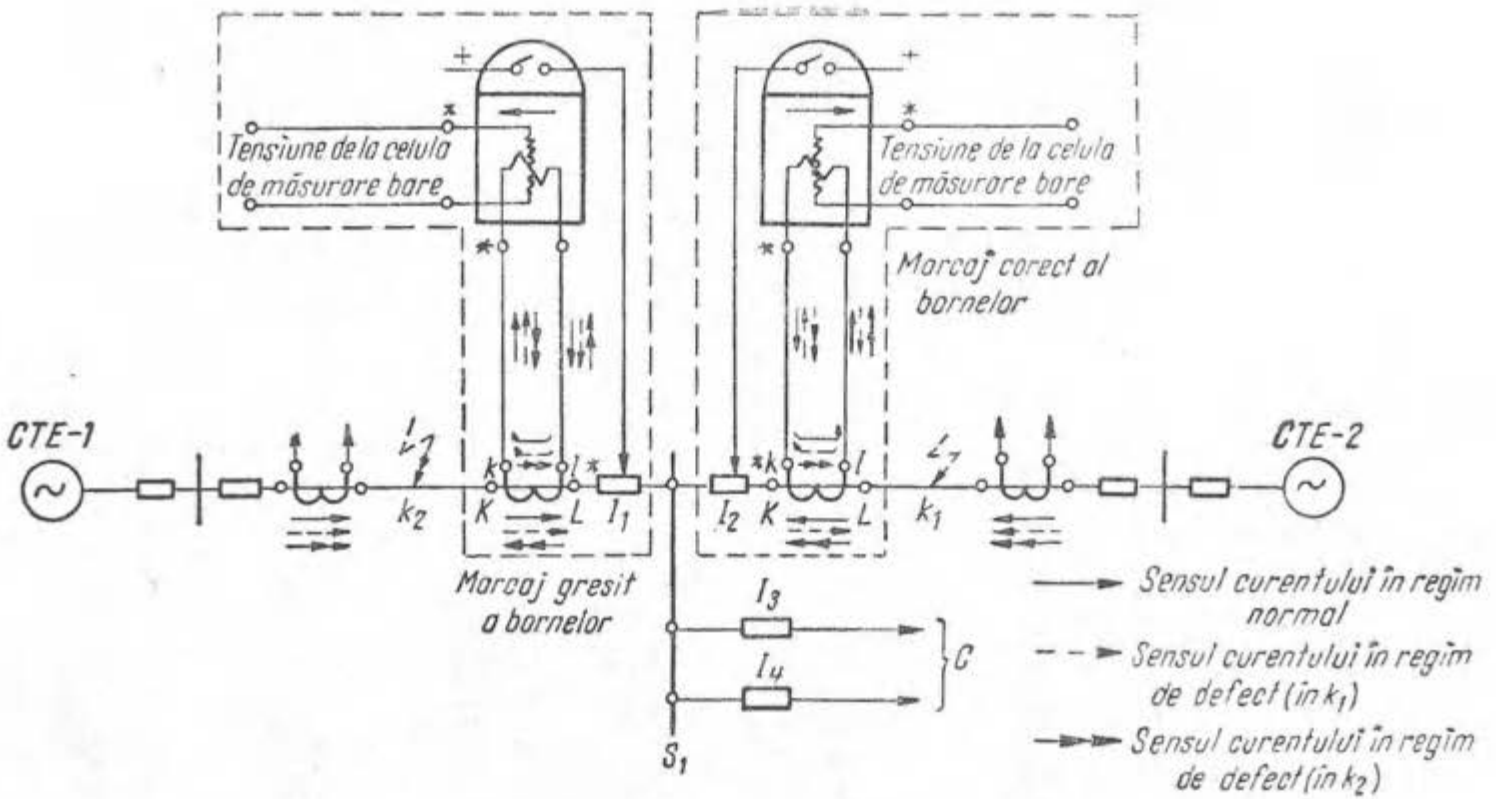

Tensiune de la celula de măsurare bare
Tensiune de la celula de măsurare bare
Marcaj corect al bornelor
CTE-1
CTE-2
Marcaj gresit a bornelor
Sensul curentului în regim normal
Sensul curentului în regim de defect (in k1)
Sensul curentului în regim de defect (in k2)

Fig. 5.19. Exemplu de folosire a unui marcaj corect, respectiv greşit, al bornelor secundare ale transformatoarelor de curent ce alimentează relee direcţionale.

larizate sînt notate cu *). Tensiunile trebuie, de asemenea, aplicate releului conform schemei de protecţie. Presupunînd că transformatorul de curent de pe linia cu întreruptorul $I_1$ are inversat marcajul bornelor (aşa cum s-a reprezentat în fig. 5.19) şi că apare un scurtcircuit în punctul $K_1$ pe LEA a întreruptorului $I_2$, întreruptorul $I_1$ va declanşa (la impulsul protecţiei) incorect, iar întreruptorul $I_2$ va declanşa corect. În această situaţie staţia $S_1$ rămîne fără tensiune, iar consumatorii alimentaţi de liniile $C$ vor fi întrerupţi cu toate urmările ce decurg din aceasta. Pentru a se evita astfel de greşeli în conectarea instalaţiilor de protecţie, măsurare şi automatizare, este absolut necesar să se verifice corectitudinea marcării bornelor transformatoarelor de măsură după reparaţie şi la punerea în funcţiune. Verificarea corectitudinii marcării bornelor (verificarea polarităţii) constă în determinarea bornei secundare ce corespunde acelei borne primare în care *curentul intră*. Verificarea polarităţii se poate face prin mai multe metode, după cum se arată în cele ce urmează.

### 5.9.2. *Verificarea polarităţii bornelor transformatoarelor de tensiune*

Pentru determinarea polarităţii bornelor transformatoarelor de tensiune se foloseşte *metoda curentului continuu*. Aparatajul folosit în acest caz este: miliampermetru magnetoelectric de tipul cu amortizare mare şi scală dublă (avînd zero la mijloc), cu domeniul de măsură 0—30 mA, sau un multavi ce se fixează pe scala de curent continuu în jurul valorii de 30 mA, un buton de sonerie şi o baterie telefonică $S$ de 1,5 V, montate ca în schema din fig. 5.20. Dacă polaritatea bornelor corespunde adică există şi în realitate ceea ce se indică în schema din (fig. 5.20), atunci în momentul apăsării butonului $B$ (care se ţine apăsat maximum 2—3 s), acul miliampermetrului va devia de la zero spre dreapta scalei, după care revine la zero. Cînd se deschide butonul $B$, acul aparatului deviază spre stînga scalei, după care revine la zero. Dacă polarizarea bornelor nu corespunde (sînt marcate greşit), deviaţia acului miliampermetrului va fi de sens contrar primului caz. Pentru

a mări operativitatea măsurării și a evita greșelile de montaj, se poate utiliza la verificarea polarității *un indicator de polaritate* (fig. 5.21) ce poate fi construit în orice atelier. Reostatul $R$ de circa 1 000 Ω, ce se reglează printr-un

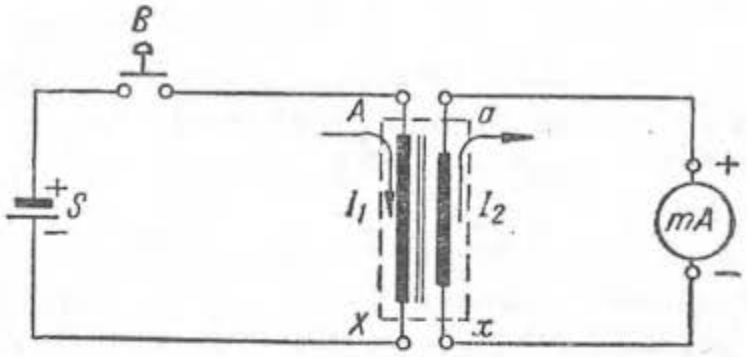



Fig. 5.20. Schema de montaj pentru determinarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune, prin metoda curentului continuu:

*S* — sursă de tensiune de curent continuu (pilă); *B* — buton; $TT_v$ — transformatorul supus verificării; *mA* — miliampermetru.

șurub fără sfîrșit, are rolul de a proteja miliampermetrul împotriva curenților prea mari, care ar provoca îndoirea acului indicator. Înainte de începerea măsurării, reostatul

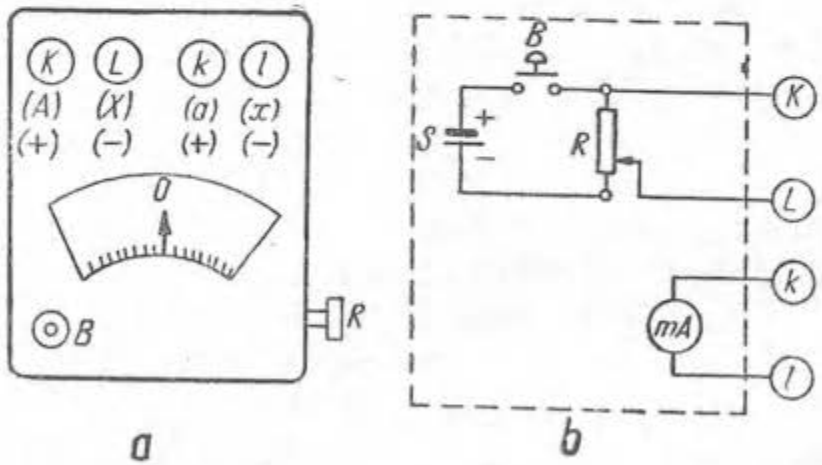



Fig. 5.21. Indicator de polaritate:

*a* — aspectul exterior; *b* — schema electrică interioară.

se fixează pe poziția de rezistență maximă, după care se reglează pînă cînd se obține (la apăsarea butonului *B*) o deviație ușor de remarcat.

La transformatoarele de măsură trifazate, pentru a verifica corectitudinea legăturilor interioare ale înfășurărilor primare, respectiv secundare, se determină grupa de conexiuni a acestora tot cu ajutorul *indicatorului de polaritate*,

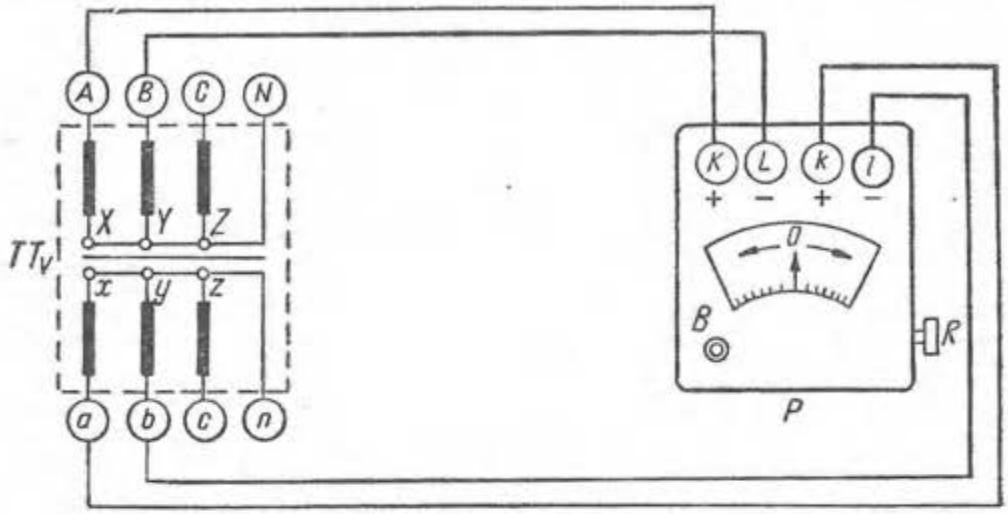



Fig. 5.22. Schema de montaj pentru determinarea grupei de conexiuni a transformatoarelor de tensiune cu indicatorul de polaritate:
P — indicator de polaritate; $TT_v$ — transformatorul supus verificării.

conform fig. 5.22. Se apasă pe butonul *B* și acul indicator al miliampermetrului va devia fie spre (+) fie spre (—). Această deviație se introduce cu semnul respectiv în tabelul 5.9, după care se desfac legăturile de la *a* și *b* ale lui

*Tabelul 5.9*

**Semnul deviației acului indicator al miliampermetrului**

| Borne secundare / Borne primare | *ab* | *bc* | *ca* |
|---|---|---|---|
| *AB* | + | — | — |
| *BC* | — | + | — |
| *CA* | — | — | + |

$TT_v$ (fig. 5.22) și se leagă borna *b* cu *k* și borna *c* cu *l*. Se repetă operația de mai sus și se notează semnul deviației în coloana *bc*. Se desfac apoi legăturile de la *b* și *c* și se

leagă borna $c$ la $k$, iar $a$ la $l$ și se notează semnul deviației în rîndul $AB$ coloana $ca$.

În continuare se desfac legăturile de la bornele primare $A$ și $B$ ale lui $TT_v$ și se leagă borna $B$ la $K$ și $C$ la

*Tabelul 5.10*

**Grupele de conexiuni posibile ale transformatoarelor și semnele pentru identificarea lor**

| Bornele primare ale transformatoarelor, legate la bornele $KL$ ale polarimetrului | Semnele deviației miliampermetrului legat la bornele: | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *ab* | *bc* | *ca* | *ab* | *bc* | *ca* | *ab* | *bc* | *ca* |
| | grupa 12 | | | grupa 4 | | | grupa 8 | | |
| *AB* | + | − | − | − | − | + | − | + | − |
| *BC* | − | + | − | + | − | − | − | − | + |
| *CA* | − | − | + | − | + | − | + | − | − |
| | grupa 6 | | | grupa 10 | | | grupa 2 | | |
| *AB* | − | + | + | + | + | − | + | − | + |
| *BC* | + | − | + | − | + | + | + | + | − |
| *CA* | + | + | − | + | − | + | − | + | + |
| | grupa 11 | | | grupa 3 | | | grupa 7 | | |
| *AB* | + | 0 | − | 0 | − | + | − | + | 0 |
| *BC* | − | + | 0 | + | 0 | − | 0 | − | + |
| *CA* | 0 | − | + | − | + | 0 | + | 0 | − |
| | grupa 1 | | | grupa 5 | | | grupa 9 | | |
| *AB* | + | − | 0 | − | 0 | + | 0 | + | − |
| *BC* | 0 | + | − | + | − | 0 | − | 0 | + |
| *CA* | − | 0 | + | 0 | + | − | + | − | 0 |

$L$, după care se repetă operațiile arătate mai sus, făcîndu-se permutări circulare cu legăturile pe secundar și notîndu-se în tabel semnele deviațiilor pe rîndul al doilea *(BC)* în coloanele respective. De asemenea se repetă

verificările și pentru legăturile polarimetrului la bornele $C$ și $A$ ale $TT_v$. Pentru exemplificare, considerăm că la aceste verificări s-au obținut deviații avînd semnele notate în tabelul 5.9. Pentru a stabili grupa de conexiuni a transformatorului verificat $TT_v$ se compară datele obținute și înscrise în tabelul 5.9 cu datele din tabelul 5.10.

Comparînd datele din cele două tabele, rezultă că transformatorul verificat are grupa de conexiuni $Yy - 12$.

### 5.9.3. *Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent*

Această verificare se poate face prin metoda curentului continuu, prin metoda wattmetrică și prin metoda adunării algebrice a curenților.

**Metoda curentului continuu.** Se procedează ca la § 5.9.2, cu deosebirea că notațiile bornelor primare vor fi $K$ și $L$ în loc de $A$ și $X$, iar în secundar $k$ și $l$ în loc de $a$ și $x$.

**Metoda wattmetrică.** În cazul acestei metode se folosește schema de montaj din fig. 5.23 (cu linie plină). Cu ajutorul trusei TC-1200 se alimentează montajul din fig. 5.23 cu un curent avînd o valoare aproximativ egală cu curentul nominal primar al transformatorului de curent $TC_v$ ce se verifică și se notează sensul deviației acului indicator al wattmetrului cu scală dublă. Apoi se reduce curentul la zero și se efectuează legăturile la wattmetru conform schemei desenate cu linii întrerupte (fig. 5.23), repetîndu-se operația de mai sus. Dacă sensul deviațiilor are același semn, marcarea bornelor transformatorului de curent verificat este corectă.

**Metoda adunării algebrice a curenților.** Se alimentează montajul din fig. 5.24 cu un curent în limita domeniului de măsurare al ampermetrelor. Se observă că ampermetrul $A_1$ va indica curentul din primarul transformatorului de verificat $TC_v$, iar ampermetrul $A_2$ va indica suma curenților primar $I_1$ și secundar $I_2$. Rezultă că marcarea bornelor corespunde în cazul cînd ampermetrul $A_2$ indică o valoare mai mare decît ampermetrul $A_1$. Dacă ampermetrul $A_2$ indică mai puțin decît $A_1$, marcajul bornelor nu corespunde întrucît ar avea aspectul din fig. 5.25. În

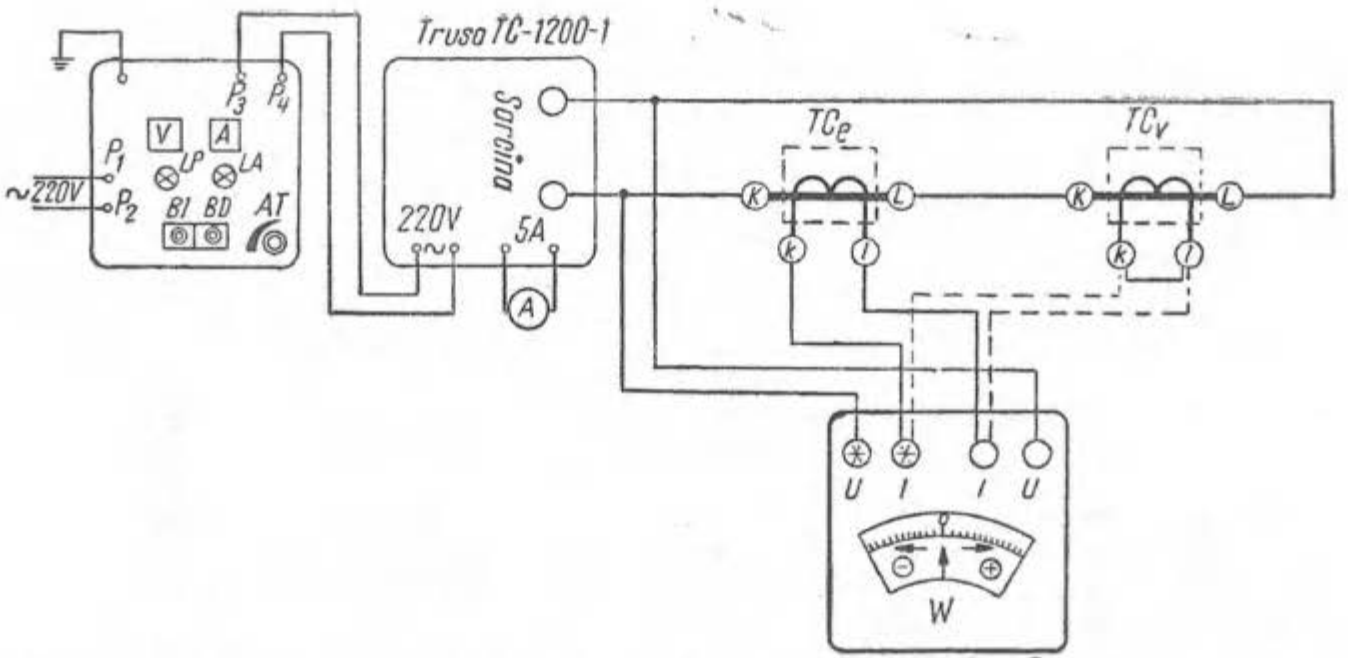



Fig. 5.23. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda wattmetrică:

*PC* — pupitru de comandă; $TC_e$ — transformator de curent etalon; $TC_v$ — transformatorul supus verificării; *W* — wattmetru cu dublu sens.

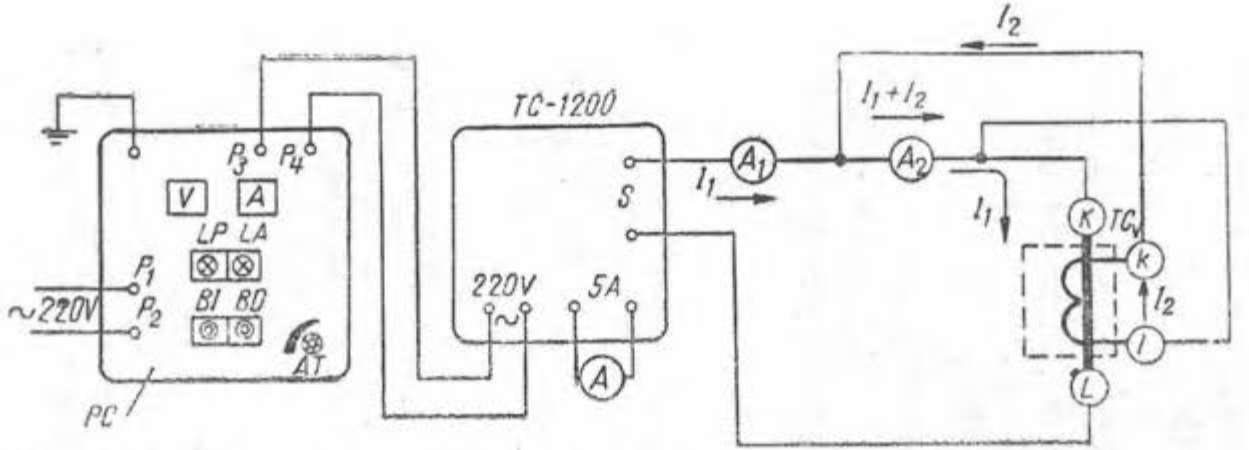



Fig. 5.24. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda adunării algebrice a curenților (marcajul bornelor corespunde):

*PC* — pupitrul de comandă; $TC_v$ — transformatorul supus verificărilor; $A_1$, $A_2$ — ampermetre.

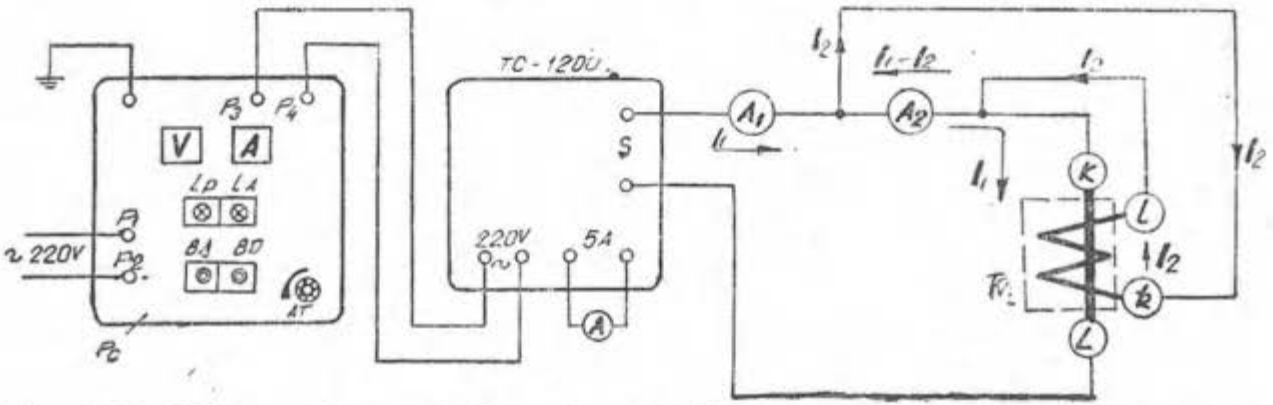



Fig. 5.25. Schema de montaj pentru verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent, prin metoda adunării algebrice a curenților: *PC* — pupitrul de comandă; *TC* — trusă de 1200 A; $T_v$ — transformator supus verificării; $A_1$, $A_2$ — ampermetre.

general, metoda adunării geometrice a curenților nu se folosește în practică, deoarece diferența (respectiv suma) curenților nu este suficient de sensibilă, datorită faptului că $I_2$ este mic în comparație cu $I_1$.

### 5.9.4. *Verificarea legării grupelor de trei transformatoare de curent folosite pentru protecția diferențială*

După cum se știe, protecțiile diferențiale folosesc două sau mai multe grupe de transformatoare de curent (a cîte două sau trei transformatoare de curent într-o grupă), din care una, respectiv două grupe pot avea secundarele în conexiune triunghi. Verificarea conexiunii se face la punerea în funcțiune a protecției diferențiale, pentru a constata dacă legăturile înfășurărilor secundare

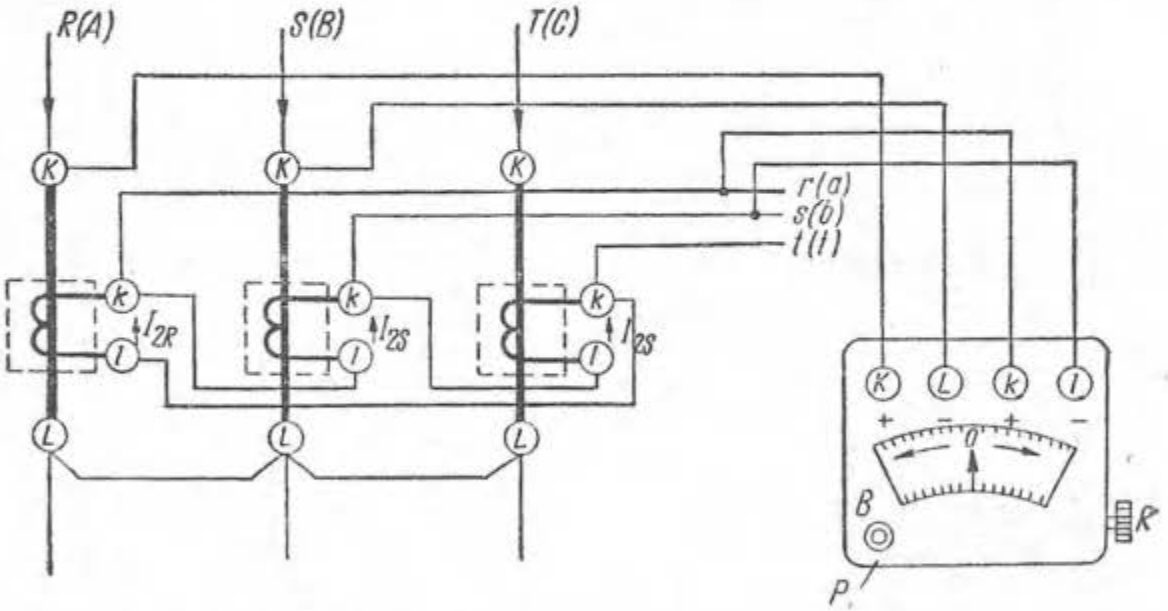



Fig. 5.26. Schema de montaj pentru verificarea conexiunii unei grupe de trei transformatoare de curent folosite la alimentarea protecției diferențiale:
P — indicator de polaritate.

ale celor trei transformatoare de curent sînt conform proiectului. În fig. 5.26 s-a reprezentat grupa de trei transformatoare de curent pentru protecția diferențială, la care bornele primare $L$ s-au legat împreună (scurtcircuitat) pe

timpul verificării. Operaţia de verificare se execută ca şi în cazul grupei de conexiuni a transformatoarelor de tensiune trifazate (§ 5.9.2). De asemenea, pentru stabilirea grupei de conexiuni, rezultatele măsurărilor se compară cu datele din tabelul 5.10. Verificarea conexiunii grupei de transformatoare de curent din protecţia diferenţială trebuie efectuată, pentru a evita punerea în funcţiune a acestei protecţii cu legături greşite, fapt care ar avea ca urmare acţionări false ale protecţiei şi ar necesita scoaterea din funcţiune a instalaţiilor pentru remedieri.

## 5.10. Determinarea raportului de transformare şi a erorilor de raport şi de unghi

### 5.10.1. *Noţiuni generale*

După cum s-a amintit, în procesul de funcţionare al transformatoarelor de măsură, mărimea primară este transpusă în circuitul secundar, redusă de un anumit număr de ori (în funcţie de raportul de transformare). Ţinînd cont de faptul că atît mărimile primare cît şi cele secundare sînt mărimi fazoriale, analiza lor impune luarea în considerare nu numai a valorii acestor mărimi, ci şi a sensului şi a defazajului dintre ele.

Analizînd problema din punctul de vedere al valorii, se poate afirma că în primă aproximaţie, valoarea mărimii secundare este proporţională cu valoarea mărimii din primarul transformatorului. Datorită acestui fapt, dacă se înmulţeşte indicaţia aparatului de măsurat conectat la înfăşurarea secundară a transformatorului, cu un coeficient numit *raport de transformare,* se poate determina valoarea mărimii din primar. Prin raport de transformare nominal ($k_n$) al transformatorului de măsură se înţelege raportul dintre valoarea mărimii primare nominale ($U_{1n}$ sau $I_{1n}$) şi a celeia secundare nominale ($U_{2n}$ sau $I_{2n}$), acest raport fiind înscris pe plăcuţa indicatoare sub formă de fracţie, şi anume:

— Pentru transformatoarele de tensiune, raportul de transformare este dat de relația

$$k_n = \frac{U_{1n}}{U_{2n}},$$

în care: $U_{1n}$ este tensiunea nominală primară, care se definește ca fiind tensiunea aplicată la bornele fazelor înfășurării primare în regim nominal de funcționare;

$U_{2n}$ — tensiunea nominală secundară, definită ca fiind tensiunea ce rezultă la bornele fazelor înfășurării secundare, atunci cînd înfășurării primare i se aplică tensiunea nominală (secundarul fiind deschis).

— Pentru transformatoarele de curent, raportul de transformare este dat de relația.

$$k_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}},$$

în care: $I_{1n}$ este curentul nominal primar al transformatorului de curent, înscris pe plăcuța lui indicatoare, care determină condițiile nominale de funcționare ale transformatorului;

$I_{2n}$ — curentul nominal secundar, definit, conform STAS 4324-62, ca fiind valoarea curentului din înfășurarea secundară, înscris de plăcuța indicatoare și care determină condițiile de funcționare nominale ale transformatoarelor de curent (valorile standardizate ale lui $I_{2n}$ sînt 5 A și, în cazuri speciale, 1A).

Exactitatea cu care se măsoară mărimea primară cu aparatul conectat în secundar nu este aceeași pentru întregul domeniu de variație al mărimii din circuitul primar. Acest lucru se datorește faptului că, în realitate, mărimile secundare nu variază proporțional cu cele primare și deci raportul de transformare $k_n$ nu este constant pentru întregul domeniu de variație al mărimii primare. Rezultă că

mărimile primare se vor putea măsura cu exactitate în secundar, numai dacă se cunosc valorile raportului de transformare pentru toate condițiile de funcționare a transformatorului de măsură. Principalele condiții de funcționare a transformatorului de măsură, respectiv principalii parametri de care depinde de valoarea raportului de transformare, sînt:

— regimul de funcționare al transformatorului de măsură (supraîncărcat, în gol, dezechilibru pe faze, scurtcircuit etc.);

— valoarea tensiunii primare, respectiv a curentului primar, determinată de condițiile de lucru ale circuitului primar și de frecvența acestora;

— valoarea sarcinii secundare;

— caracterul sarcinii conectate la secundarul transformatorului de măsură (în funcție de caracterul receptoarelor, poate predomina sarcina secundară cu caracter activ sau cu caracter reactiv);

— calitatea materialului tolelor miezului magnetic și a prelucrării lui.

Datorită celor expuse mai sus, pentru a măsura cu exactitate mărimea primară, ar fi necesar ca indicația aparatului de măsurat din secundar să se înmulțească nu cu raportul nominal de transformare $k_n$, ci cu un alt raport, numit *raport de transformare efectiv (real)* $k_e$. Prin raport de transformare efectiv (real) $k_e$ al transformatorului de măsură se înțelege raportul dintre valoarea mărimii primare reale ($U_1$ sau $I_1$) și valoarea mărimii secundare reale ($U_2$ sau $I_2$). În practică însă, este incomod să se folosească raportul real de transformare, deoarece acesta variază ca valoare în funcție de condițiile arătate mai sus. Din acest motiv, valoarea indicată de aparatul de măsurat conectat în secundar se înmulțește nu cu raportul efectiv (real) de transformare $k_e$, ci tot cu raportul nominal $k_n$ care este constant, fapt pentru care indicațiile aparatelor de măsurat din secundar vor conține erori (eroare de tensiune, respectiv de curent).

Dacă problema este privită din cel de-al doilea punct de vedere, și anume al sensului și defazajului fazorilor ce reprezintă mărimile primare și secundare ale transforma-

toarelor de măsură, atunci la măsurarea unor mărimi, ca putere, energie, factor de putere etc., intervine și o altă eroare, numită *eroare de unghi* a transformatorului de măsură. Se știe că fluxul magnetic $\Phi$ este defazat cu 90° în urma mărimii primare, iar t.e.m. $E_2$ este defazată cu 90° în urma fluxului ce a produs-o. Dacă bobinajul secundar este închis printr-un aparat de măsurat sau releu, tensiunea electromotoare va determina un curent $I_2$ care, în cazul unei sarcini secundare pur ohmice și dacă înfășurarea secundară nu ar avea reactanță, ar fi în fază cu $E_2$. Rezultă deci că în cazul ideal, la un transformator de măsură, fazorul curentului secundar, respectiv al tensiunii secundare, este defazat față de fazorul mărimii primare cu 180°, adică sînt în opoziție. În cazul real al transformatoarelor de măsură utilizate în instalații, defazajul dintre fazorul mărimii secundare și cel al mărimii primare diferă de 180°, fiind mai mic sau mai mare cu un anumit unghi $\delta$, care reprezintă eroarea de unghi (fig. 5.27 și 5.30). Această eroare se consideră (în mod convențional) pozitivă, dacă fazorul mărimii secundare rotit cu 180° este defazat cu un unghi $\delta$ înaintea fazorului mărimii primare și se consideră negativă în situația cînd este defazat în urma fazorului mărimii primare. Defazajele dintre fazorii ce reprezintă mărimile primare și secundare ale transformatorului de măsură, precum și fazorii celorlalte mărimi ce caracterizează funcționarea transformatorului (flux, t.e.m. etc.) rezultă din diagrama fazorială a transformatorului de măsură.

Avînd în vedere faptul că transformatorul de tensiune funcționează ca un transformator de putere în regim de mers în gol, iar transformatorul de curent funcționează ca un transformator de putere în regim de scurtcircuit, diagramele fazoriale ale celor două feluri de transformatoare de măsură diferă între ele. În fig. 5.27 este redată diagrama fazorială a transformatorului de tensiune [5], din care reies cauzele erorilor de raport și de unghi. În această diagramă s-a reprezentat fazorul tensiunii primare $U_1$ avînd o direcție arbitrar aleasă, care acoperă căderile de tensiune în bobinajul primar ($I_1 r_1$ și $I_1 x_1$) și echilibrează t.e.m. primară $E_1$. Pentru magnetizarea miezului magnetic se absoarbe un curent $I_\mu$ avînd caracter reactiv,

iar pentru acoperirea pierderilor în fierul miezului (pierderi prin histerezis și prin curenți turbionari) se absoarbe un curent activ $I_a$, care însumați geometric formează curentul de mers în gol $I_0$. Fluxul creat în fier de curentul magne-

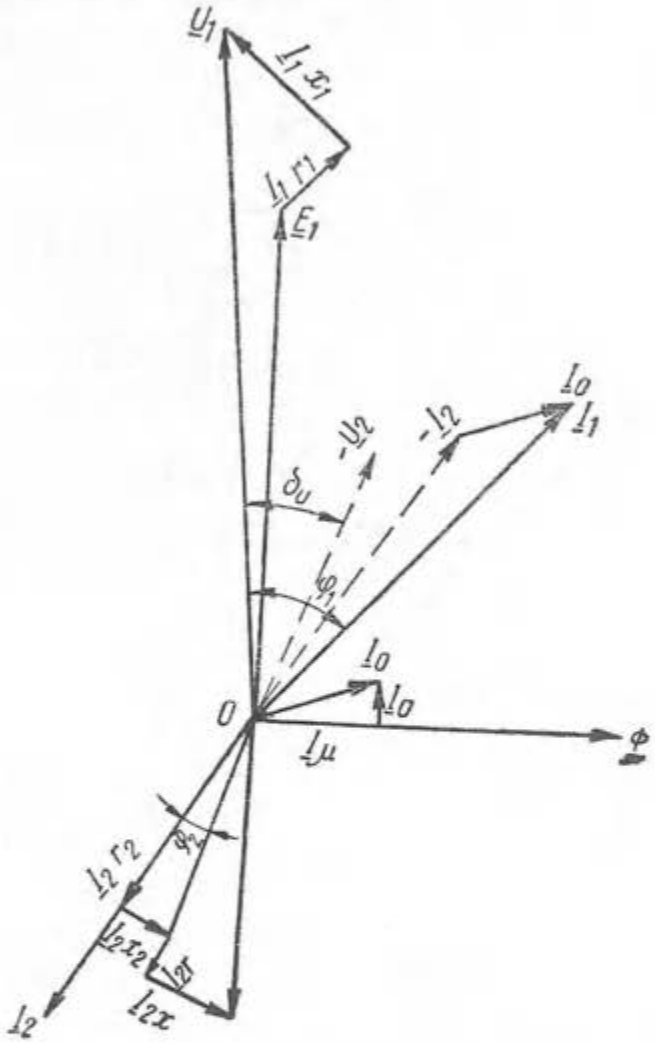



Fig. 5.27. Diagrama fazorială a transformatoarelor de tensiune.

tizant induce în înfășurarea secundară o t.e.m. $E_2$, defazată cu 90° în urma lui. Această t.e.m. $E_2$ acoperă tensiunea secundară $U_2$ (care reprezintă suma geometrică a căderilor de tensiune în rezistența și reactanța înfășurării secundare, adică $I_2 r_2 + I_2 x_2$), precum și suma geometrică a căderilor de tensiune în rezistența și reactanța circuitului exterior conectat la secundarul transformatorului ($I_2 r + I_2 x$). Rotind fazorul tensiunii secundare $U_2$ cu 180° (desenat punctat $-U_2$), se observă că acesta nu se supra-

pune peste fazorul tensiunii primare $U_1$, ci este defazat față de acesta cu unghiul $\delta_u$, care reprezintă eroarea de unghi (fazorii $U_1$ și $U_2$ nefiind în opoziție). Din diagramă se observă că în cazul cînd pe secundarul transformatorului se conectează mai multe aparate, acestea vor absorbi un curent mai mare (respectiv o putere secundară $P_2$ mai mare), care va determina creșterea căderilor de tensiune în înfășurările secundară și primară. Cum însă tensiunea

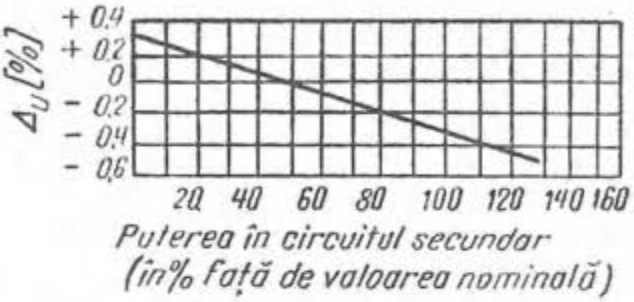



Fig. 5.28. Variația erorii de raport a transformatoarelor de tensiune, în funcție de sarcină.

primară $U_1$ nu se modifică (fiind tensiunea rețelei), se vor modifica tensiunea $U_2$ (care trebuie să acopere căderi

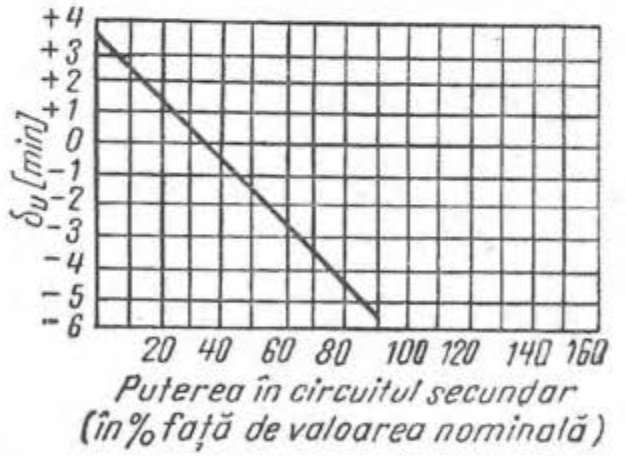



Fig. 5.29. Variația erorii de unghi a transformatoarelor de tensiune, în funcție de sarcină.

de tensiune mai mari în secundar), curentul primar $I_1$ și curentul de mers în gol $I_0$. Prin schimbarea numărului diferitelor aparate de măsurat și relee din secundar se modifică pe lîngă parametrii arătați și caracterul sarcinii

secundare, ceea ce duce la modificarea unghiului φ. Rezultatul acestor modificări în circuitul secundar exterior constă în modificarea erorilor (de raport şi de unghi) ale transformatorului de tensiune. Variaţia erorilor transformatorului de tensiune, în funcţie de sarcina conectată pe secundarul acestuia (prin modificarea numărului de aparate de măsurat conectate), rezultă din fig. 5.28, respectiv 5.29 [5]. Eroarea de tensiune $\Delta_u$, a transformatorului de tensiune, se defineşte prin relaţia

$$\Delta_u = \frac{k_n U_2 - U_1}{U_1} 100\ [\%], \qquad (5.6)$$

iar eroarea de unghi $\delta_u$ se defineşte ca fiind unghiul de defazaj dintre fazorul tensiunii primare şi fazorul tensiunii secundare, rotit cu 180°. La un transformator fără eroare de unghi, defazajul este 0° şi nu 180°. Eroarea de

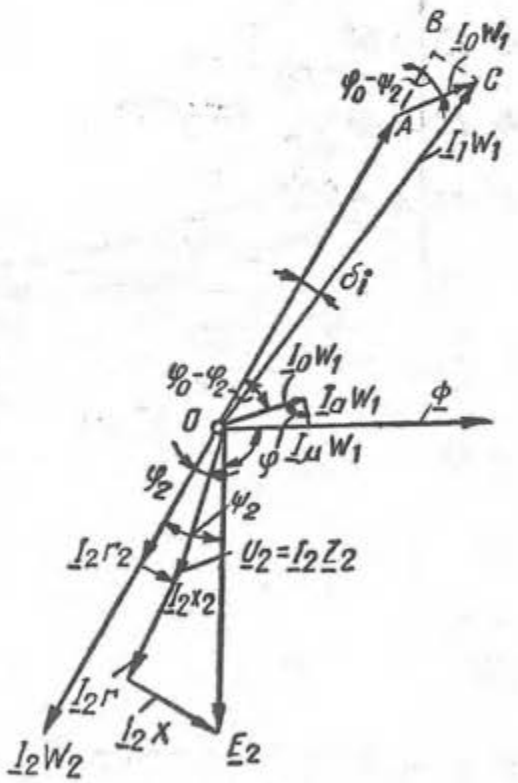



Fig. 5.30. Diagrama fazorială a transformatorului de curent.

tensiune în procente în condiţiile nominale de funcţionare reprezintă clasa de precizie a transformatorului.

Diagrama fazorială a transformatorului de curent este reprezentată în fig. 5.30 şi se construieşte similar cu cea

a transformatorului de tensiune. Curentul $I_1$ este determinat de consumatorii legați la rețeaua în care se înseriază înfășurarea primară a transformatorului de curent. Din acest motiv el nu este influențat de curentul din secundarul transformatorului. Curentul secundar $I_2$ este însă determinat de sarcina conectată la bornele secundare ale transformatorului (de numărul și caracterul aparatelor de măsurat, respectiv de relee). Poziția relativă a curentului $I_2$ și valoarea sa față de curentul $I_1$ sînt influențate de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sînt caracterul și valoarea sarcinii, precum și calitatea miezului. Rezultă deci că acești factori vor influența valoarea erorilor de raport și de unghi ale transformatorului de

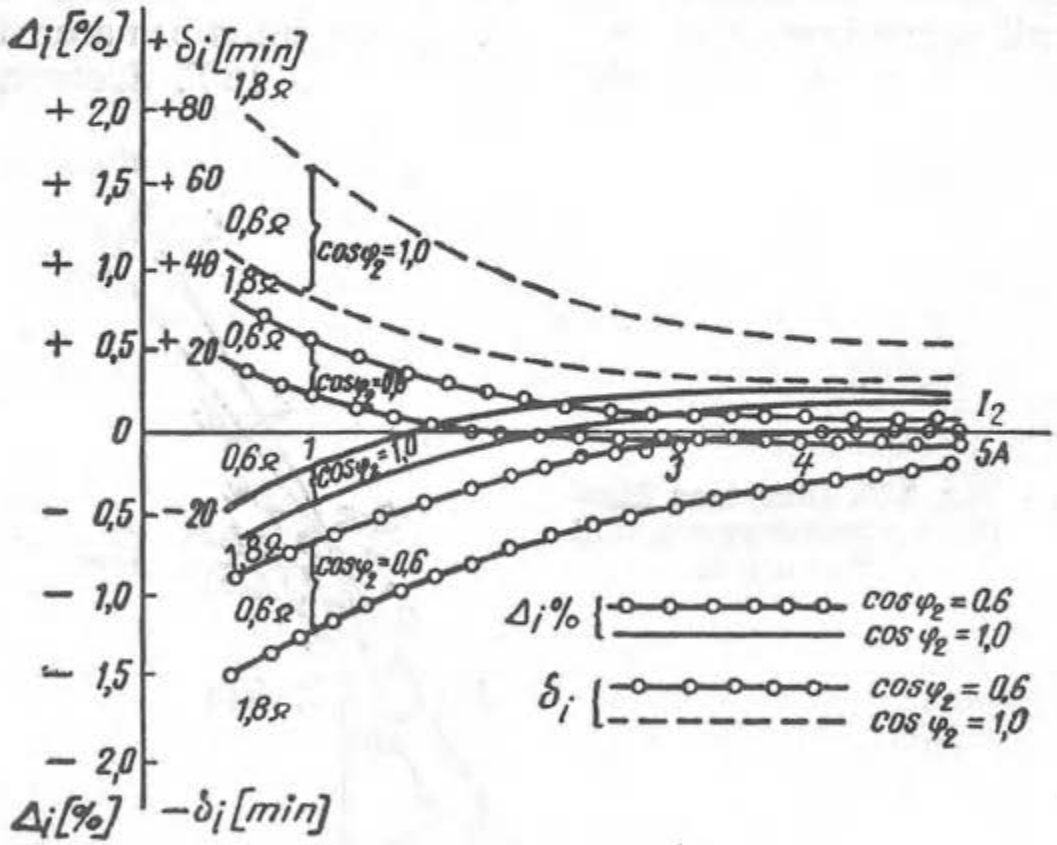



Fig. 5.31. Curbele erorilor transformatoarelor de curent, în funcție de valoarea și caracterul sarcinii.

curent. În fig. 5.31 sînt reprezentate curbele erorilor transformatoarelor de curent, în funcție de valoarea și caracterul sarcinii secundare. Ca și în cazul transformatoarelor de tensiune și la transformatoarele de curent,

fluxul $\Phi$ este determinat de acțiunea comună a amperspirelor primare $I_1W_1$ și a celor secundare $I_2W_2$, ultimele avînd o acțiune demagnetizantă asupra miezului. Este important de subliniat faptul că la deschiderea circuitului secundar al transformatorului de curent cînd acesta este parcurs de curentul primar, acțiunea demagnetizantă a amperspirelor secundare $I_2W_2$ se anulează. În felul acesta, întreaga cantitate de amperspire primare $I_1W_1$ are o acțiune magnetizantă; de asemenea crește mult valoarea $I_0W_1$, care devine egală cu $I_1W_1$ și determină o creștere a fluxului $\Phi$. Din cauza fluxului mare se încălzește miezul și crește t.e.m. $E_2$, fapt ce conduce la deteriorarea transformatorului de curent și la pericolul de electrocutare pentru personalul de deservire ce vine în contact cu circuitele secundare. Erorile de raport și de unghi ale transformatoarelor de curent, în funcție de clasa lor de precizie, rezultă din tabelul 5.11. Eroarea de curent $\Delta_i$, a transformatorului de curent, este definită prin relația

$$\Delta_i = \frac{k_n I_2 - I_1}{I_1} 100\,[\%]. \tag{5.7}$$

Eroarea de unghi $\delta_i$ se definește similar ca eroarea de unghi a transformatorului de tensiune, cu deosebirea că ea se referă la fazorii curenților. Eroarea de curent (în procente) în condițiile nominale de funcționare ale transformatorului de curent reprezintă clasa de precizie a acestuia. Se menționează că, în cazul utilizării transformatoarelor de curent pentru alimentarea schemelor de protecții, este necesar să se țină cont de coeficientul de saturație $n$, numit și *cifră de supracurent*. Acest coeficient este definit prin raportul dintre curentul nominal primar de saturație $I_{1sn}$ și curentul nominal primar $I_{1n}$, adică

$$n = \frac{I_{1sn}}{I_{1n}}, \tag{5.8}$$

pentru care eroarea de raport nu depășește 10% și eroarea de unghi nu depășește 6°, atunci cînd pe secundarul transformatorului de curent este legată sarcina secundară nominală. Coeficientul de saturație $n$ este înscris pe plăcuța indicatoare sub forma $n<x$ sau $n>x$, în care $x$ poate

*Tabelul 5.11*

## Domeniul de utilizare a transformatoarelor de măsură în funcție de erorile tolerate

| Clasa de precizie a transformatoarelor de măsură | Domeniul de utilizare | Transformatoare de curent | | | | | | | Transformatoare de tensiune | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Curentul primar, în % din curentul nominal | Erori tolerate | | Limitele sarcinii secundare $Z_2$, în % față de cea nominală, la $\cos\varphi = 0{,}8$ | Clasa de precizie a aparatelor de măsurat cu care se asociază transformatoarele de curent | | | Tensiunea primară, în % din tensiunea nominală | Erori tolerate | |
| | | | de curent, în % | de unghi, în min | | Ampermetre | Wattmetre | Contoare | | de tensiune, în % | de unghi, în min |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 0,1 | Pentru măsurări de precizie în laborator | 120—100<br>20<br>10 | ±0,1<br>±0,15<br>±0,2 | ± 6<br>±10<br>±12 | | 0,5<br>1,0<br>1,0 | 0,5<br>1,0<br>1,0 | 0,5<br>—<br>— | — | — | — |
| 0,2 | Pentru măsurări de precizie în laborator | 120—100<br>20<br>10 | ±0,2<br>±0,35<br>±0,5 | ±10<br>±15<br>±20 | | 1,0<br>1,5<br>— | 1,0<br>1,5 | 1,0<br>1,0 | 50—120 | ±0,2 | ±10 |
| 0,5 | Pentru măsurări exacte în exploatare (pentru contoarele principale) | 120—100<br>20<br>10 | ±0,5<br>±0,75<br>±1,0 | ±30<br>±40<br>±60 | 25—100 | 1<br>1,5 | 1<br>1,5 | 2<br>2,5 | 80—120 | ±0,5 | ±20 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Pentru măsurări normale în exploatare (pentru releele de distanță, relee de putere și aparate de tablou) | 120—100<br>20<br>10 | ±1<br>±1,5<br>±2 | ±60<br>±80<br>±120 | | 2,5 | 2,5 | — | 90—100 | ±1 | ±40 |
| 3 | Pentru relee de curent sau tensiune, diferențiale, ampermetre, voltmetre, semnalizări | 100—50 | ±3 | — | 50—100 | — | — | — | 90—110 | ±3 | — |
| 10 | Pentru măsurări fără condiții de precizie | 100 | ±10 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| *D* | Pentru protecții diferențiale (cu valoarea lui *n* mare și caracteristici de magnetizare apropiate) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

avea valorile 5; 10; 15 şi 20 (cu cît valoarea lui $x$ este mai mare cu atît condiţia impusă din punctul de vedere al erorii este mai severă). În baza coeficientului de saturaţie se poate aprecia capacitatea unui transformator de curent de a fi folosit pentru alimentarea unei anumite protecţii. Acest lucru rezultă şi din tabelul 5.12, în care sînt indi-

*Tabelul 5.12*

**Valorile coeficientului de saturaţie impus transformatoarelor de curent [3; 29 şi 30]**

| Protecţia | Valoarea lui $n$ pentru care eroarea de raport nu depăşeşte 10%, iar eroarea de unghi 6° |
|---|---|
| Protecţie maximală temporizată, cu caracteristică independentă | $n > 5$ |
| Idem, cu caracteristică dependentă | $n > 10$ |
| Protecţie de distanţă | $n > 10$ |
| Protecţie diferenţială cu relee avînd bobină de frînare | $n \geqslant 10$ |
| Protecţie diferenţială cu relee fără bobină de frînare | $n \geqslant 15$ |
| Protecţie diferenţială a barelor | $n \geqslant 15$ sau chiar $n \geqslant 20$ |

cate valorile coeficientului de saturaţie impus transformatoarelor de curent folosite pentru alimentarea protecţiilor.

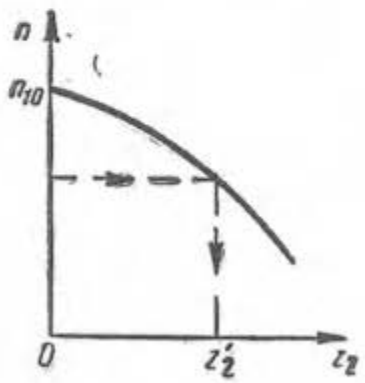



Fig. 5.32. Forma curbei $n=f(Z_2)$.

Întreprinderile constructoare de transformatoare de curent indică în prospecte şi cataloage, pentru fiecare tip de transformator în parte, curbele erorilor de 10%. Aceste curbe au alura din fig. 5.32 şi se utilizează pentru

determinarea valorii sarcinii $Z_2$, ce se poate lega în secundarul transformatorului în vederea obținerii coeficientului de saturație dorit.

### 5.10.2. *Măsurarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi ale transfomatoarelor de tensiune*

Aceste măsurări se efectuează la punerea în funcțiune, după reparațiile capitale ale transformatoarelor de tensiune la termenele stabilite de D.G.M.S.I., precum și în toate cazurile cînd în exploatare apar dubii în privința erorilor pe care le au aceste aparate. Personalul ce efectuează măsurările este obligat să ia măsurile NTS corespunzătoare pentru evitarea accidentării prin electrocutare (îngrădiri, folosirea echipamentului de protecție etc.), avînd în vedere că metodele de măsurare și aparatele de măsurat utilizează tensiune ridicată.

Măsurarea raportului de transformare și a erorilor se poate efectua în laborator sau pe teren, la locul de instalare al transformatorului. În acest din urmă caz trebuie dată o atenție deosebită separării fizice a transformatorului de restul instalației din care face parte. Înainte de a se trece la măsurarea efectivă a raportului de transformare și a erorilor, este necesar să se demagnetizeze miezul de fier al transformatorului de tensiune, folosind una din următoarele metode:

1. Se închide înfășurarea secundară a transformatorului de tensiune, pe o rezistență a cărei valoare se calculează cu relația

$$R_2 = \frac{U_{2n}}{P_{2n}}, \tag{5.9}$$

în care:

$U_{2n}$ este tensiunea nominală secundară, în V;

$P_{2n}$ — puterea nominală aparentă, în VA (definită ca fiind puterea măsurată la bornele secundarului, cînd tensiunea primară are valoarea nominală iar erorile nu depășesc limitele clasei de precizie a transformatorului respectiv).

După aceasta, înfășurarea primară a transformatorului se alimentează cu o tensiune dată de relația

$$U_i = 1{,}2\, U_{1n}, \qquad (5.10)$$

conform fig. 5.33, după care tensiunea se coboară treptat pînă la valoarea zero.

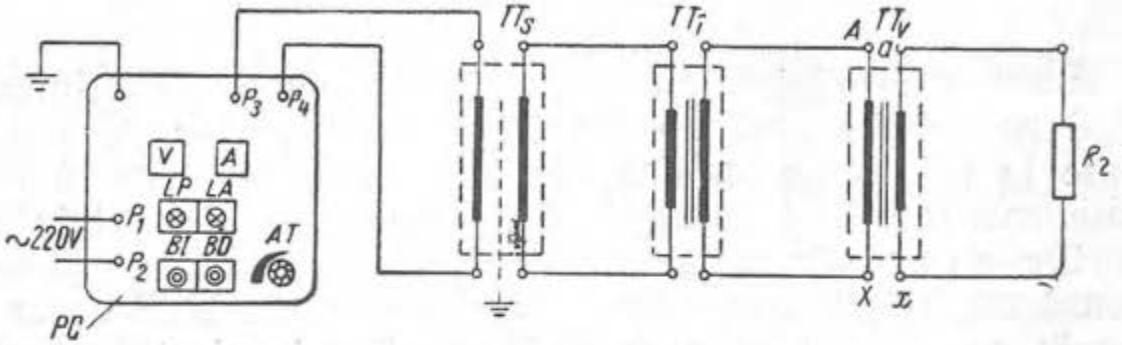



Fig. 5.33. Schema de montaj pentru demagnetizarea miezului transformatorului de tensiune în vederea verificării raportului de transformare și a erorilor (tensiunea se aplică înfășurării primare):
*PC* — pupitrul de comandă; $TT_s$ — transformator de separare; $TT_i$ — transformator de încercare de înaltă tensiune; $TT_v$ — transformator de tensiune supus verificării; $R_2$ — rezistență conectată în secundarul transformatorului ce se verifică.

2. A doua metodă de demagnetizare se utilizează mai ales în cazul cînd nu se dispune de un transformator de încercare care să aibă $U_i = 1{,}2\ U_{1n}$. Metoda constă în alimentarea înfășurării secundare a transformatorului de ten-

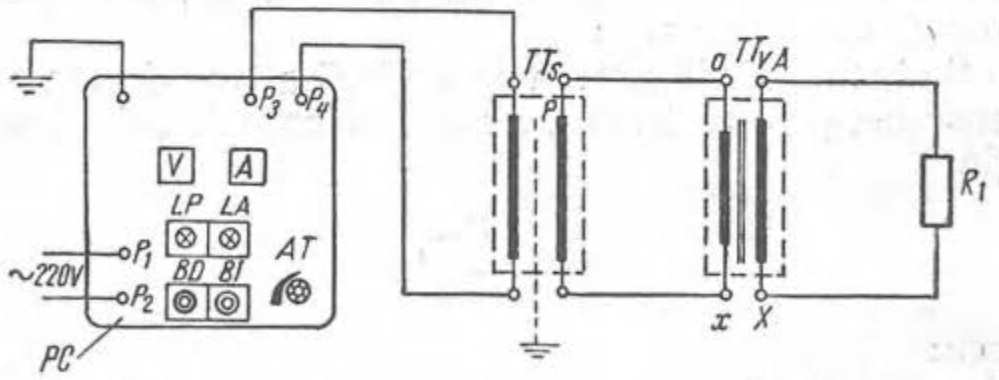



Fig. 5.34. Schema de montaj pentru demagnetizarea miezului transformatorului de tensiune, în vederea verificării raportului de transformare și a erorilor (tensiunea se aplică înfășurării secundare):
*PC* — pupitrul de comandă; $TT_s$ — transformator de separare; *TT* — transformator de tensiune supus verificării.

siune ce se verifică (fig. 5.34) cu o tensiune $U_i = 1,2\,U_{2n}$, primarul fiind închis pe o rezistență a cărei valoare se determină cu relația

$$R_1 = \frac{U_{1n}^2}{P_{2n}}. \tag{5.11}$$

Și la această metodă, tensiunea se reduce treptat de la valoarea lui $U_i$ pînă la zero.

3. A treia metodă, cea de demagnetizare în curent continuu a miezului, constă principial în supunerea acestui miez acțiunii unui cîmp magnetic variabil ca sens, produs de un curent continuu care se micșorează treptat pînă la valoarea zero. Inversarea sensului cîmpului magnetic se obține prin manevrarea de mai multe ori a unui inversor, pe fiecare treaptă de curent. După efectuarea demagnetizării miezului, se trece la măsurarea propriu-zisă a raportului și a erorilor, prin una din metodele de mai jos.

#### 5.10.2.1. Metodă directă

Măsurarea raportului de transformare prin metoda directă se poate face în două feluri:

1. Prin măsurarea directă a parametrilor primari și secundari ai transformatorului de tensiune cu un aparat de măsurat de clasa 0,2 sau 0,5. Rezultă că în acest caz se pot verifica numai transformatoarele de joasă tensiune, sub 0,66 kV. Pentru efectuarea măsurării se folosește aparatajul din fig. 5.35. Din motive de NTS este indicat ca transformatorul ridicător să se construiască astfel încît între înfășurarea de înaltă și cea de joasă tensiune să se intercaleze un cilindru de tablă de alamă (notat cu $P$), tăiat pe generatoare și legat la priza de pămînt. După realizarea montajului din fig. 5.35 se reglează impedanța $Z_2$ la valoarea $Z_2 = 0,25\,Z_{2n}$, unde $Z_{2n} = U_{2n}^2/P_{2n}$. Se ridică apoi treptat tensiunea cu mînerul $AT$ din $PC$, fixînd pe voltmetrul $V_1$ valorile $0,9\,U_{1n}$; $U_{1n}$ și $1,1\,U_{1n}$ ($U_{1n}$ fiind tensiunea nominală primară a transformatorului ce se verifică $TT_v$) și se citesc valorile corespunzătoare acestor puncte la voltme-

trul $V_2$, montat în secundarul lui $TT_v$. De la această valoare se scade tensiunea, pînă la zero, notînd de asemenea indicaţiile voltmetrelor $V_1$ şi $V_2$, în aceleaşi puncte în care s-a citit la ridicarea tensiunii. Se fixează sarcina

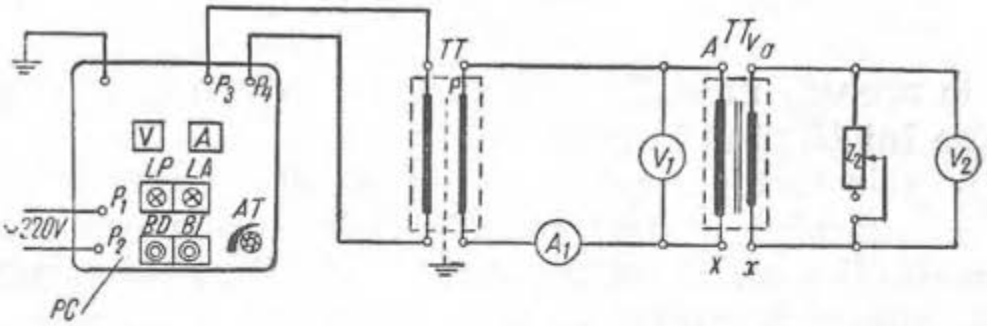



Fig. 5.35. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare al transformatorului de tensiune $TT_v$ prin metoda directă:

*PC* — pupitrul de comandă; *TT* — transformator ridicător de tensiune; $V_1$, $V_2$ — voltmetre de curent alternativ cu mai multe domenii de măsură; $A_1$ — ampermetru; $Z_2$ — cutie de impedanţe reglabilă.

secundară la valoarea $Z_2 = Z_{2n}$ şi se procedează ca mai sus. Apoi se poate deconecta montajul de la sursă. Este comod ca indicaţiile aparatelor în timpul măsurării să fie înscrise într-un tabel de forma tabelului 5.13. Din datele obţinute

*Tabelul 5.13*

**Rezultatele măsurărilor şi ale calculelor**

| $U_1$ | $Z_2$ | La creşterea tensiunii | | | La descreşterea tensiunii | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | Ω | $V_1$ | $V_2$ | $\Delta_u$ [%] | $V_1$ | $V_2$ | $\Delta_u$ [%] |
| $0{,}9\,U_{1n}=5400$ | $0{,}25\,Z_{2n}=50$ | 54 | 89,6 | —0,445 | 54 | 89,6 | —0,445 |
| | $Z_{2n}=200$ | 54 | 89,8 | —0,22 | 54 | 89,8 | —0,22 |
| $U_{1n}=6000$ | $0{,}25\,Z_{2n}=50$ | 60 | 99,7 | —0,3 | 60 | 99,6 | —0,4 |
| | $Z_{2n}=200$ | 60 | 99,8 | —0,2 | 60 | 99,9 | —0,1 |
| $1{,}1\,U_{1n}=6600$ | $0{,}25\,Z_{2n}=50$ | 66 | 109,6 | —0,364 | — | — | — |
| | $Z_{2n}=200$ | 66 | 109,7 | —0,272 | — | — | — |

prin măsurări se calculează raportul efectiv de transformare $k_e = \frac{V_1}{V_2}$, care se introduce în tabel, și eroarea de raport

$$\Delta_u = \frac{k_n V_2 - V_1}{V_1} 100\ [\%]).$$

Se consideră că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare și al erorii de raport, dacă valorile corespunzătoare obținute la măsurări se încadrează în prevederile tabelului 5.11 și dacă diferența dintre erorile măsurate la creșterea respectiv descreșterea tensiunii, pentru aceeași valoare a tensiunii de încercare, nu este mai mare decît datele indicate în tabelul 5.14. Dacă în urma măsurărilor se constată că

*Tabelul 5.14*

**Clasa de precizie și diferența erorilor admisă la transformatoarele verificate [27]**

| Clasa de precizie a transformatorului verificat | Diferența admisă pentru erorile | |
|---|---|---|
| | $\Delta_u$ [%] | $\delta_u$ [min] |
| 0,2 | 0,05 | 1 |
| 0,5; 1; 3 | 0,1 | 5 |

raportul de transformare diferă de raportul $k_n$ înscris pe plăcuța indicatoare, aceasta se datorează următoarelor:

— scurtcircuit între spirele înfășurării primare;

— scurtcircuit între spirele înfășurării secundare;

— distrugerea izolației între tolele miezului magnetic și scurtcircuitarea tolelor;

— slăbirea strîngerii tolelor miezului;

— întreruperea înfășurării primare, respectiv secundare, în care caz raportul de transformare nu se poate măsura, iar transformatorul se introduce în reparație.

2. Cel de al doilea mijloc de a măsura raportul de transformare și erorile transformatorului de tensiune în cadrul metodei directe se folosește în cazul cînd transfor-

matorul $TT_v$ ce se măsoară are tensiunea nominală primară $U_{1n}$ mai mare de 0,66 kV. În acest caz, măsurarea se efectuează asupra transformatorului $TT_v$, conform schemei 5.36. Pentru efectuarea măsurării se procedează ca la punctul 1,

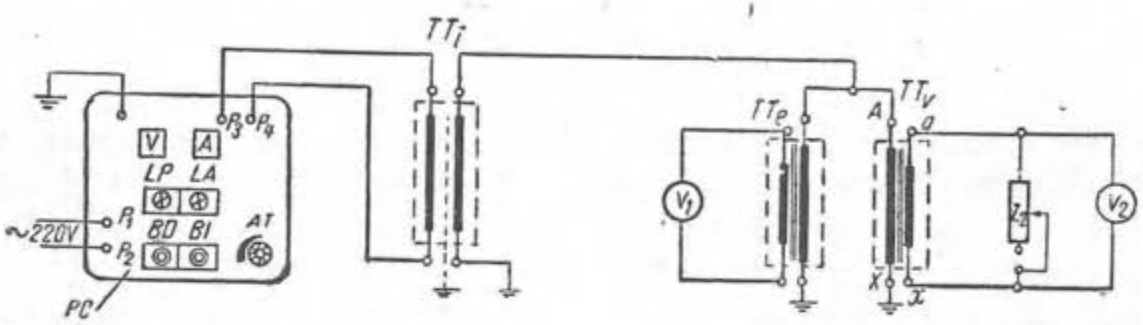



Fig. 5.36. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare și a erorilor transformatorului de tensiune avînd $U_{1n}>0{,}66$ kV, prin metoda directă:

*PC* — pupitrul de comandă; $TT_i$ — transformator de încercare; $TT_e$ — transformator de tensiune etalon; $V_1$, $V_2$ — voltmetre de curent alternativ; $Z_2$ — cutie de impedanțe reglabilă.

cu deosebirea că trebuie să ținem cont de raportul de transformare și de eroarea transformatorului etalon.

Cînd transformatorul etalon $TT_e$ are același raport de transformare ca și transformatorul de verificat $TT_v$, cu ajutorul butonului *AT* din *PC* se reglează tensiunea aplicată înfășurării primare a celor două transformatoare legate în paralel ($TT_e$ și $TT_v$), fixîndu-se succesiv la voltmetrul $V_1$ valorile $U_i=0{,}9\ U_{2n}$; $U_{2n}$ și $1{,}1\ U_{2n}$, în care $U_{2n}$ este valoarea tensiunii nominale secundare a transformatorului $TT_v$ ce se verifică. Concomitent cu citirea valorilor la voltmetrul $V_1$ se citesc și indicațiile voltmetrului $V_2$. Dacă cele două voltmetre indică aceeași valoare, înseamnă că raportul transformatorului de verificat $TT_v$ este cel înscris pe plăcuța lui. Dacă însă cele două voltmetre indică valori diferite, înseamnă că transformatorul $TT_v$ are eroare de raport (+ sau —), care se calculează cu relația

$$\Delta_v=\frac{V_2-V_1}{V_1}\,100\ [\%], \qquad (5.12)$$

în care $V_1$ și $V_2$ sînt valorile tensiunilor citite la voltmetrele corespunzătoare.

În cazul cînd raportul de transformare al transformatorului etalon $TT_e$ diferă de cel al transformatorului de verificat $TT_v$, se procedează conform indicațiilor din exemplul ce urmează.

*Exemplu:* Să se determine prin măsurări eroarea de raport a unui transformator de tensiune TIBU-6, avînd raportul 6000/100 V, $P_{2n}=50$ VA pentru clasa 0,5 dacă avem la dispoziție un transformator etalon de 10 000/100 V, folosind montajul din fig. 5.36.

Se calculează valorile tensiunii de încercare:

$$U_{i1}=0{,}9\ U_{1nTT_v}=0{,}9\cdot 6\,000=5\,400\ \text{V};$$

$$U_{i2}=U_{1nTT_v}=6\,000\ \text{V};$$

$$U_{i3}=1{,}1\cdot U_{1nTT_v}=1{,}1\cdot 6\,000=6\,600\ \text{V}.$$

Raporturile de transformare sînt:

$$k_{TT_e}=\frac{10\,000}{100}=100;$$

$$k_{TT_v}=\frac{6\,000}{100}=60.$$

Se calculează valorile tensiunilor ce urmează a se fixa la voltmetrul $V_1$, corespunzătoare celor trei puncte ale tensiunii de încercare:

— pentru $U_{i1}=5\,400$ V; $V_1=k_{TT_{eu}}\dfrac{U_{i1}}{nTT_e}=100\dfrac{5\,400}{10\,000}=54\ V$;

— pentru $U_{i2}=6000$ V; $V_1=k_{TT_e}\dfrac{U_{i2}}{U_{nTT_e}}=100\dfrac{6\,000}{10\,000}=60$ V;

— pentru $U_{i3}=6600$ V; $V_1=k_{TT_e}\dfrac{U_{i3}}{U_{nTT_e}}=100\dfrac{6\,600}{10\,000}=$

$$=66\ V.$$

Se calculează apoi valorile sarcinii $Z_2$ ce se fixează în secundarul transformatorului de verificat și pentru care se

efectuează măsurările:

$$Z_2 = 0{,}25\ Z_{2n} = 0{,}25\ \frac{U_{2n}^2}{P_{2n}} = 0{,}25\ \frac{100^2}{50} = 50\ \Omega;$$

$$Z_2 = Z_{2n} = \frac{U_{2n}^2}{P_{2n}} = \frac{100^2}{50} = 200\ \Omega.$$

Toate aceste valori se introduc în tabelul 5.13.

Presupunînd că la voltmetrul $V_2$ se citesc tensiunile înscrise în tabelul 5.13, se calculează erorile de raport:

— pentru $U_{i1}$ și 0,25 $Z_{2n}$, la creșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{k_{TT_v} V_2 - k_{TT_e} V_1}{k_{TT_e} V_1} 100 =$$

$$\frac{60 \cdot 89{,}6 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0{,}445\%,$$

iar la descreșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89{,}6 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0{,}445\%;$$

— pentru $U_{i1}$ și $Z_2 = Z_{2n}$, la creșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89{,}8 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0{,}22\%,$$

iar la descreșterea tensiunii

$$\Delta_u = \frac{60 \cdot 89{,}8 - 100 \cdot 54}{100 \cdot 54} 100 = -0{,}22\%.$$

În continuare se calculează în același mod toate valorile lui $U_i$ și $Z_2$ la creșterea și descreșterea tensiunii și se trec în tabelul 5.13.

Din tabelul 5.13 rezultă că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare, întrucît eroarea lui de raport se încadrează în limitele clasei de precizie, iar diferențele dintre erorile obținute pentru o anumită valoare a tensiunii de încercare fixate, la creșterea respectiv descreșterea acesteia, pentru aceeași valoare a sarcinii $Z_2$, nu depășesc limitele din tabelul 5.14.

În cazul transformatoarelor de tensiune trifazate, cînd nu se dispune de sursă de tensiune trifazată reglabilă și de transformator etalon, verificarea orientativă a raportului de transformare se poate face cu montajul din fig. 5.37.

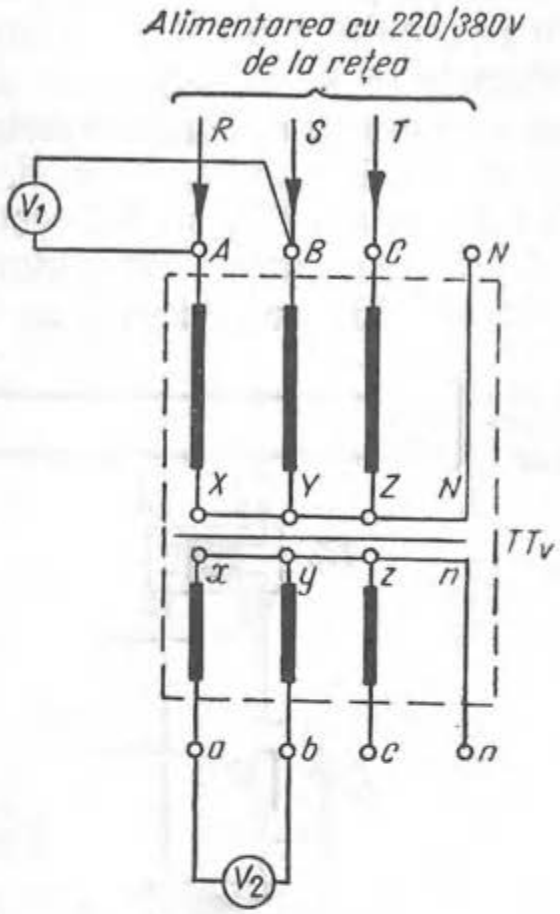



Fig. 5.37. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare a transformatorului de tensiune trifazat.

Se aplică primarului tensiunea de 380/220 V a rețelei (care se măsoară cu voltmetrul $V_1$ prin permutări circulare) și se măsoară în secundar tensiunea corespunzătoare cu voltmetrul $V_2$, de asemenea prin permutări circulare (*ab*, *bc*, *ca*). Raportul de transformare se obține împărțind indicațiile lui $V_1$ la indicațiile corespunzătoare ale lui $V_2$.

### 5.10.2.2. **Metoda comparației**

Verificarea erorilor transformatoarelor de tensiune prin metoda comparației constă în compararea caracteristicilor transformatorului ce se verifică cu caracteristicile bine cunoscute ale unui transformator etalon. Utilizarea acestei metode presupune că transformatoarele ce se compară au

aceleaşi caracteristici nominale. Pentru efectuarea măsurării erorilor de raport şi de unghi ale transformatoarelor de măsură prin metoda comparaţiei, se utilizează frecvent aparatul cunoscut sub denumirea de *trusă AIT*, care funcţionează pe principiul schemei *diferenţiale de zero*, principiu ce rezultă din cele ce urmează.

**Principiul de funcţionare al trusei AIT pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune.** Pentru măsurarea erorilor de raport şi de unghi ale transformatorului de tensiune $TT_v$ se foloseşte schema de principiu din fig. 5.38. Secundarele celor două transformatoare sînt legate în opoziţie pe divizorul de tensiune *DT*. Din acest mo-

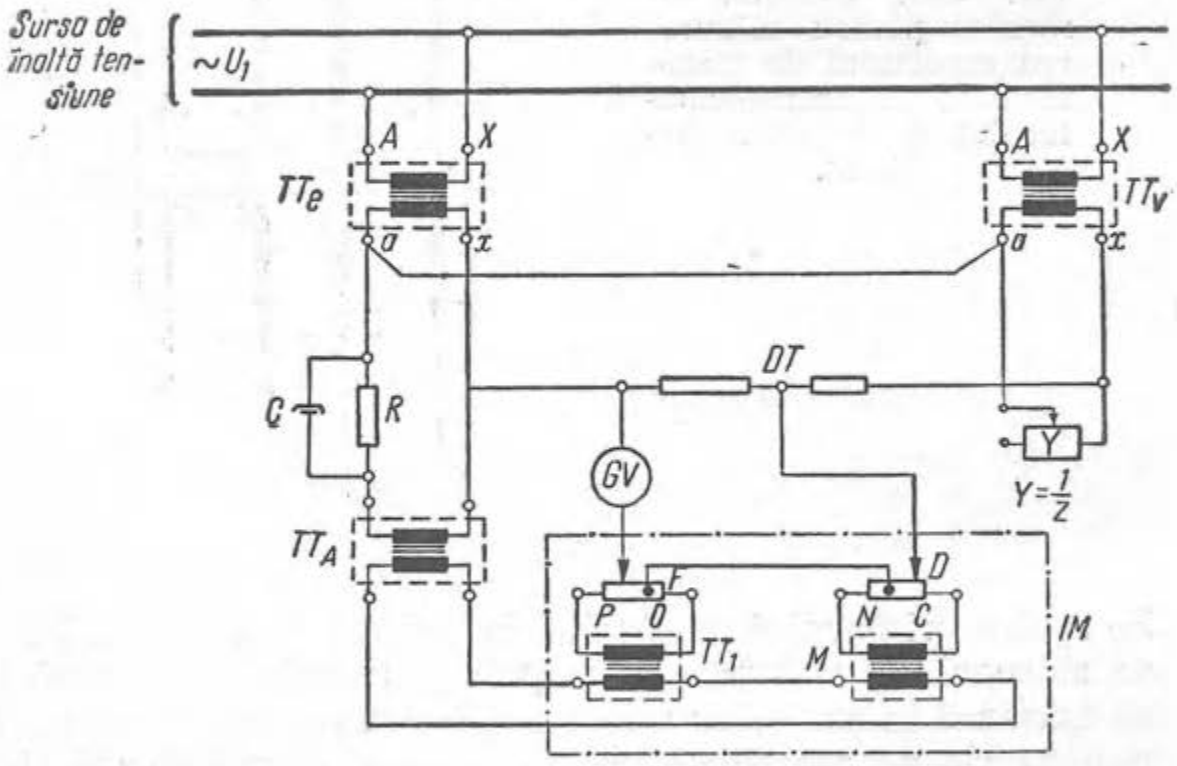



Fig. 5.38. Schema de principiu pentru măsurarea erorii de raport şi de unghi a transformatoarelor de tensiune:

*IM* — instalaţie de măsurare; $TT_e$ — transformator de tensiune etalon; $TT_v$ — transformator de tensiune verificat; $TT_A$ — transformator auxiliar; *DT* — divizor de tensiune; *GV* — galvanometru cu vibraţii; Y — cutie etalon pentru măsurarea admitanţei.

tiv, transformatorul etalon va aplica divizorului de tensiune *DT* o tensiune $U_{2o}$, iar transformatorul de verificat $TT_v$ va aplica aceluiaşi divizor o tensiune $U_{2o}$ de sens contrar tensiunii $U_{2o}$. Dacă cele două transformatoare au

$U_{2x}=U_{2x}$, aceste tensiuni se anulează și la bornele divizorului $DT$ nu vom avea tensiune. Dacă însă transformatorul $TT_v$ are eroarea de raport și de unghi diferite de cele ale transformatorului etalon $TT_e$, la bornele divizo-

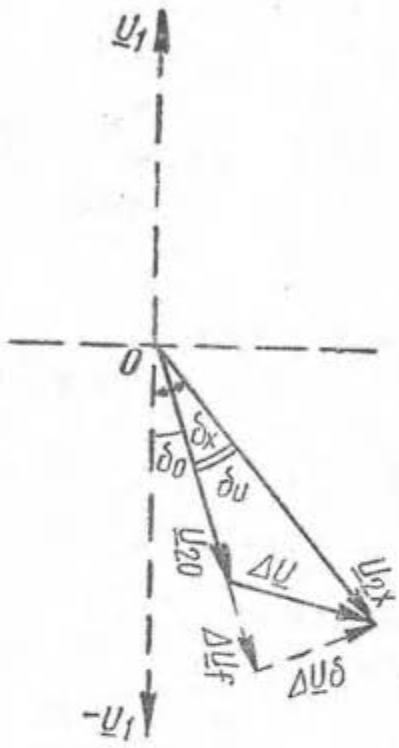



Fig. 5.39. Diagrama fazorială a mărimilor din fig. 5.62.

rului $DT$ va apărea o tensiune egală cu diferența geometrică a celor două tensiuni, adică $\Delta U=(U_{2o}-U_{2x})$, cum se vede în fig. 5.39. Tensiunea $\Delta U$ are două componente, dintre care una $\Delta U_f$ în fază cu $U_{2o}$, iar cealaltă $\Delta U\delta$ decalată cu 90° față de $U_{2o}$. Componenta $\Delta U_f$ reprezintă diferența dintre erorile de raport ale celor două transformatoare ($TT_v$ și $TT_e$). Eroarea de raport a lui $TT_v$ față de $TT_e$ este

$$\Delta U_f = \Delta U_x - \Delta U_o\,[\%].$$

Cea de-a doua componentă a lui $\Delta U$, și anume componenta $\Delta U\delta$, reprezintă diferența dintre eroarea de unghi a transformatorului $TT_v$ și eroarea de unghi a transformatorului $TT_e$, care se exprimă prin relația

$$\Delta U\,\delta = \delta_x - \delta U_o\,[\text{min}].$$

Aceste două componente ale diferenței de tensiune $\Delta U$ de pe divizorul $DT$ se compensează cu ajutorul tensiunilor luate de pe potențiometrele $F$ și $D$. Potențiometrul $F$, alimentat de transformatorul $TT_1$, aplică lui $DT$ o tensiune $\Delta U_{PO}$ în fază cu $U_{2o}$, compensînd componenta $\Delta U_f$, iar potențiometrul $D$ îi aplică lui $DT$ o tensiune $U_{NC}$ decalată cu 90° (de către regulatorul de fază $M$) față de $U_{2o}$, compensînd componenta $\Delta U_\delta$ . Atît transformatorul $TT_1$ cît și regulatorul $M$ sînt alimentate la rîndul lor de transformatorul $TT_A$ (conectat la secundarul lui $TT_e$). Rezistența $R$ în paralel cu condensatorul $C$, montate în primarul lui $TT_A$, are rolul de a asigura la potențiometrul $F$ o tensiune în fază cu tensiunea $U_{2o}$ din secundarul lui $TT_e$. Din cele de mai sus rezultă că la echilibrarea schemei există o proporționalitate între rezistența potențiometrului $F$ și eroarea de raport, respectiv între rezistența lui $D$ și eroarea de unghi. De aceea, scările potențiometrelor pot fi gradate direct în unități de măsură a erorilor (% și min).

**Descrierea trusei AIT** [34]. Trusa AIT se compune din următoarele elemente principale (fig. 5.40):

1. Circuitul de măsurare de bază, compus din potențiometrul $F$ (fig. 5.38), ce se reglează din butonul $K_3$, și din potențiometrul $D$ (fig. 5.38), ce se reglează din butonul $K_4$. Primul potențiometru servește pentru compensarea erorilor de raport și a componentei active a impedanțelor și admitanțelor, iar al doilea, $D$, pentru compensarea erorilor de unghi și a componentei reactive a impedanțelor și admitanțelor. Regulatorul de fază $M$ (fig. 5.38) asigură un decalaj de 90° între căderea de tensiune de pe potențiometrele $D$ și $F$.

2. Rezistența diferențială $R_\Delta$ (fig. 5.47), formată din patru decade de rezistențe, cu care se asigură variația limitelor de măsurare a erorilor de raport și de unghi, prin comutarea lui $K_2$.

3. Un transformator auxiliar $TT_A$ (fig. 5.38), care servește pentru alimentarea instalației de măsurare în cazul verificării transformatoarelor de tensiune. Prin elementele montate în circuitul său primar (rezistență și condensatoare), asigură același decalaj între tensiunea secundară a

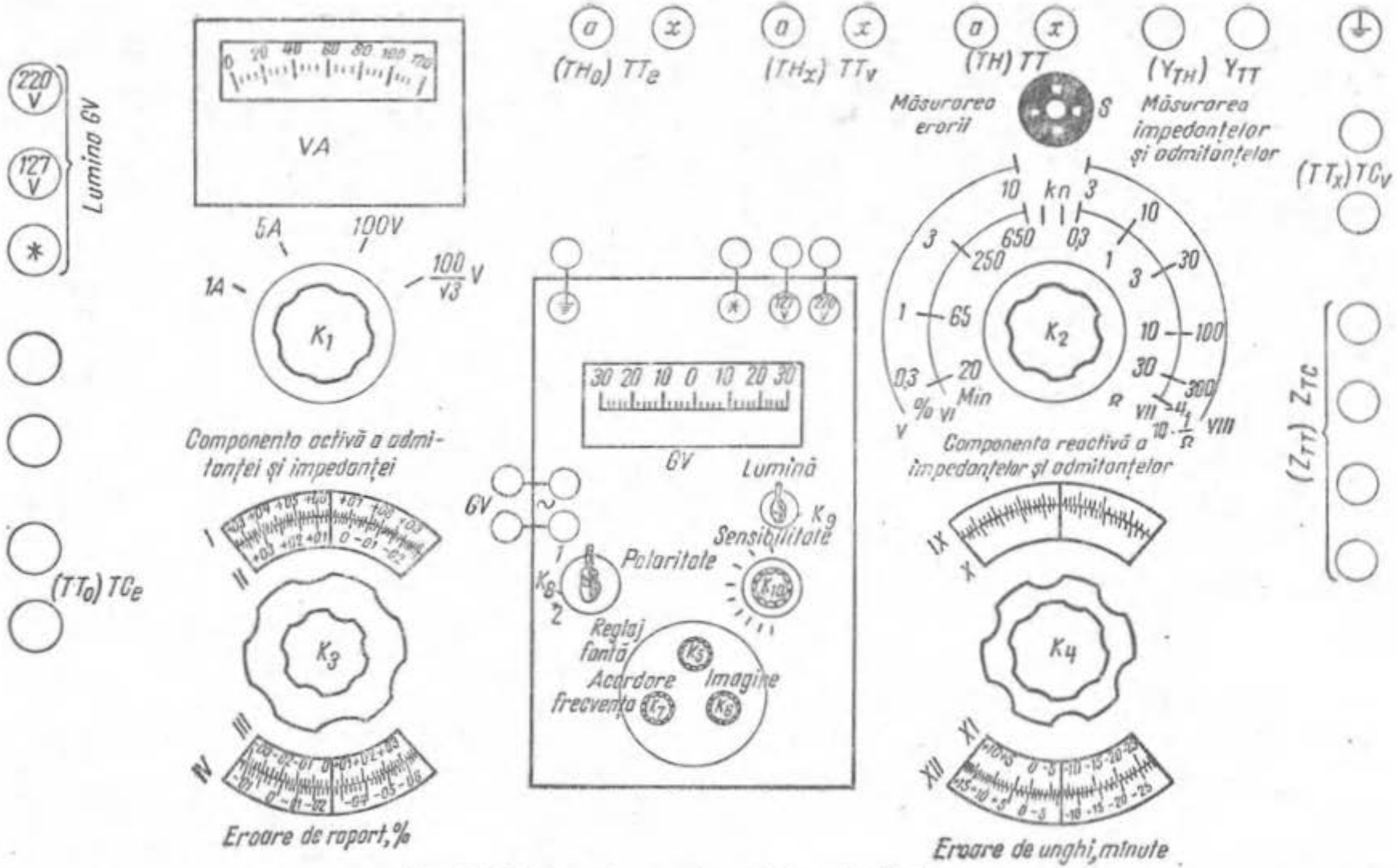



Fig. 5.40. Panoul superior al trusei AIT.

*Observație.* Notațiile din afara parantezelor corespund celor utilizate în cuprinsul lucrării; notațiile dintre paranteze sînt cele originale, existente pe panoul aparatului.

transformatorului etalon şi curentul $\Delta I$ din instalaţia de măsurare.

4. Divizorul de tensiune *DT* (fig. 5.38), care în cazul verificării transformatoarelor de tensiune se introduce în schemă în locul lui $R_\Delta$, cu ajutorul comutatorului $K_1$. Acest divizor este construit din patru decade de rezistenţe, care se introduc sau se scot din circuit cu ajutorul lui $K_2$.

5. Divizorul de tensiune *DT*, constituit din mai multe decade de rezistenţe, serveşte pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent. Introducerea decadelor se face tot cu ajutorul lui $K_2$.

6. Rezistenţa $R_N$, constituită din mai multe decade, se foloseşte pentru măsurarea admitanţei din secundarul transformatoarelor de tensiune (se reglează tot din $K_2$).

7. Galvanometrul cu vibraţii *GV*, folosit ca aparat de zero.

8. Voltampermetrul *VA*, gradat în procente din valorile nominale ale tensiunii şi curentului din secundarul transformatorului etalon de tensiune, respectiv curent. Fixarea domeniului de măsurat al lui *VA* se face prin comutatorul $K_1$.

9. Releul electromagnetic *S*, care serveşte pentru controlul corectitudinii legării bornelor polarizate sau nepolarizate ale transformatoarelor etalon şi de verificat, în schema de montaj. De asemenea indică corectitudinea marcării bornelor transformatorului de verificat.

10. Un eclator de tip RA-350, pentru protecţie la verificarea transformatoarelor de măsură.

11. Cutii de impedanţă, etalonate unele în ohmi iar altele în volt-amperi, care se livrează de întreprinderea constructoare, separat.

Condiţiile generale ce trebuie respectate la efectuarea măsurărilor cu trusa AIT sînt:

— transformatorul etalon să aibă caracteristici identice cu cel de verificat;

— toate legăturile din montajele de verificat trebuie executate cu cablu bifilar răsucit, iar distanţa dintre trusa AIT şi restul elementelor din montaj va fi de circa 5 m, în scopul eliminării influenţelor exterioare;

— trusa AIT se leagă la pămînt printr-un conductor de cupru de cel puțin 1,5 mm², la priză de pămînt separată;

— trusa AIT se așază pe un burete sau cauciuc spongios avînd grosimea de 20—40 mm, pentru ca galvanometrul să nu fie influențat de vibrații.

**Efectuarea măsurării erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT.** Se execută montajul din fig. 5.41 și se fac următoarele operații:

1. După verificarea corectitudinii montajului se pune butonul *AT* din *PC* pe poziția de tensiune minimă, iar comutatorul $K_1$ (fig. 5.40) se fixează pe poziția corespunzătoare lui $U_{2n}$ a lui $TT_v$ (10 sau $100/\sqrt{3}$ V).

2. Se fixează comutatorul sensibilității galvanometrului ($K_{10}$ din fig. 5.40) pe poziția zero și se aprinde iluminatorul scalei lui *GV* cu $K_9$.

3. Comutatorul $K_2$ se fixează pe poziția corespunzătoare erorilor aferente clasei de precizie a transformatorului de verificat $TT_v$ (scalele *V* și *VI*, fig. 5.40).

4. Cu ajutorul butonului *AT* din *PC* se ridică tensiunea pînă la valoarea $U_{1n}$ a transformatoarelor $TT_e$ și $TT_v$, valoare la care *VA* din trusa AIT trebuie să indice cifra 100. Dacă releul *S* semnalizează, înseamnă că legăturile din montaj sînt incorecte sau raporturile de transformare nu sînt egale. În cazul cînd nu semnalizează (montaj corect), se scade tensiunea la zero și apoi se fixează comutatorul $K_2$ pe poziția *K*, iar comutatorul $K_8$ pe poziția *1*. Se ridică din nou tensiunea la $U_{1n}$ și se comută $K_{10}$ pe una din pozițiile sale.

5. Se face acordarea galvanometrului în rezonanță, prin manevrarea butoanelor $K_5$, $K_6$ și $K_7$.

6. Reglînd alternativ din $K_3$, $K_4$ și $K_{10}$, se urmărește ca la poziția maximă a lui $K_{10}$ să se obțină cea mai îngustă fantă a galvanometrului. Trusa AIT este echilibrată dacă spotul luminos minim și sensibilitatea $K_{10}$ maximă se obțin în jurul diviziunilor zero (cel mult o diviziune) de pe scalele *IV* și *XII*.

7. Comutatorul $K_{10}$ se fixează pe poziția zero și apoi $K_8$ se comută pe poziția *2*, după care se procedează ca la punctul *6*. Se consideră în acest caz că trusa AIT este bine echi-

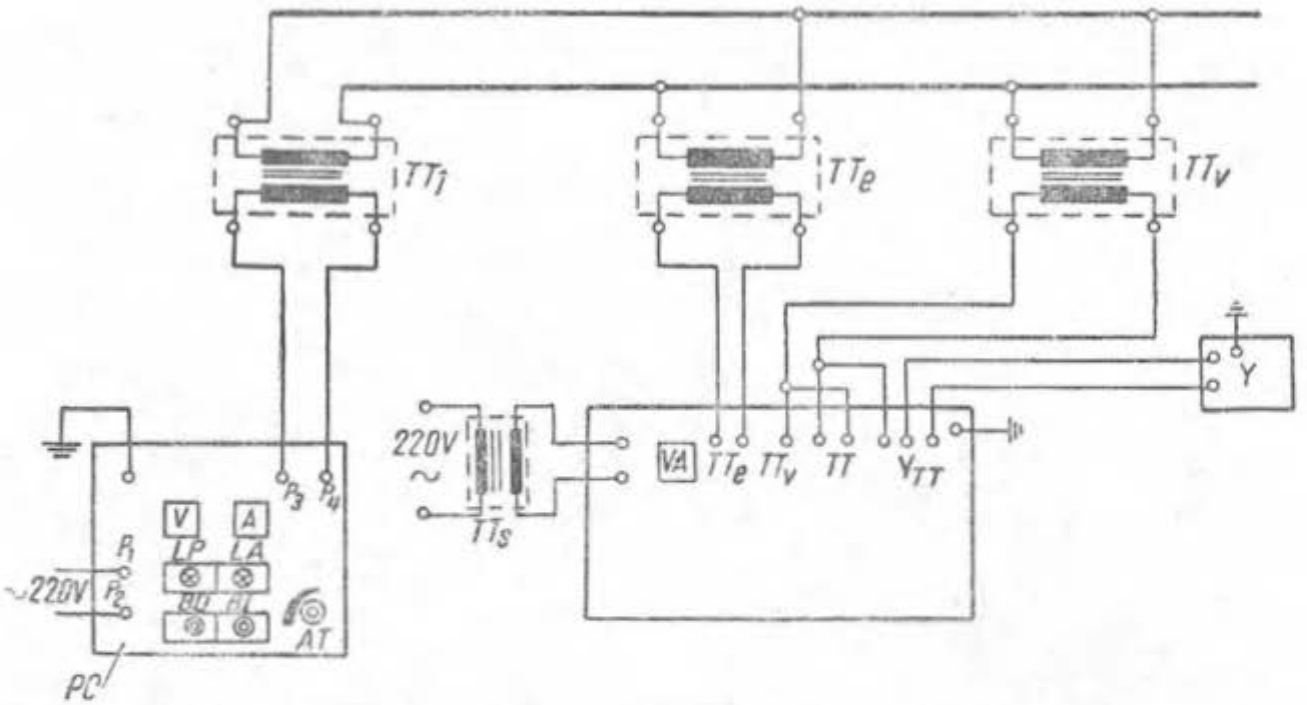



Fig. 5.41. Montajul pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT:

*PC* — pupitru de comandă; $TT_i$ — transformator de încercare; $TT_e$ — transformator etalon de tensiune; $TT_v$ — transformatorul de tensiune supus verificării; Y — cutie de impedanțe, etalonată în VA; T — trusă AIT; $TT_s$ — transformator de separare.

librată, dacă spotul minim se obține în jurul poziției zero (maximum cu o diviziune în plus față de cea de la punctul *6*, de pe scalele *IV* și *XII*).

8. Se coboară tensiunea la zero, se aduce $K_{10}$ la zero, se comută $K_2$ de pe poziția $K$ pe poziția ce indică eroarea clasei de precizie a transformatorului de verificat.

9. Se ridică tensiunea la $U_{1n}$, se echilibrează trusa din $K_{10}$, $K_3$ și $K_4$ și apoi se scoate instalația de sub tensiune.

10. Se citesc indicațiile scalelor *III* sau *IV* și *XI* sau *XII*, care, înmulțite cu $K'$ (ale cărui valori sînt date în tabelul 5.15), ne dau eroarea de raport (corespunzător scalei *III* sau *IV*) și eroarea de unghi (corespunzător scalei *XI* sau *XII*).

*Tabelul 5.15*

**Valorile lui $K'$ în funcție de poziția lui $K_2$ [34]**

| Poziția lui $K_2$ | Pe scala *V* | 0,3 % | 1 % | 3 % | 10 % |
|---|---|---|---|---|---|
| | Pe scala *VI* | 20′ | 65′ | 200′ | 650′ |
| Valorile lui $K'$ | | 0,1 | 1 | 1 | 10 |

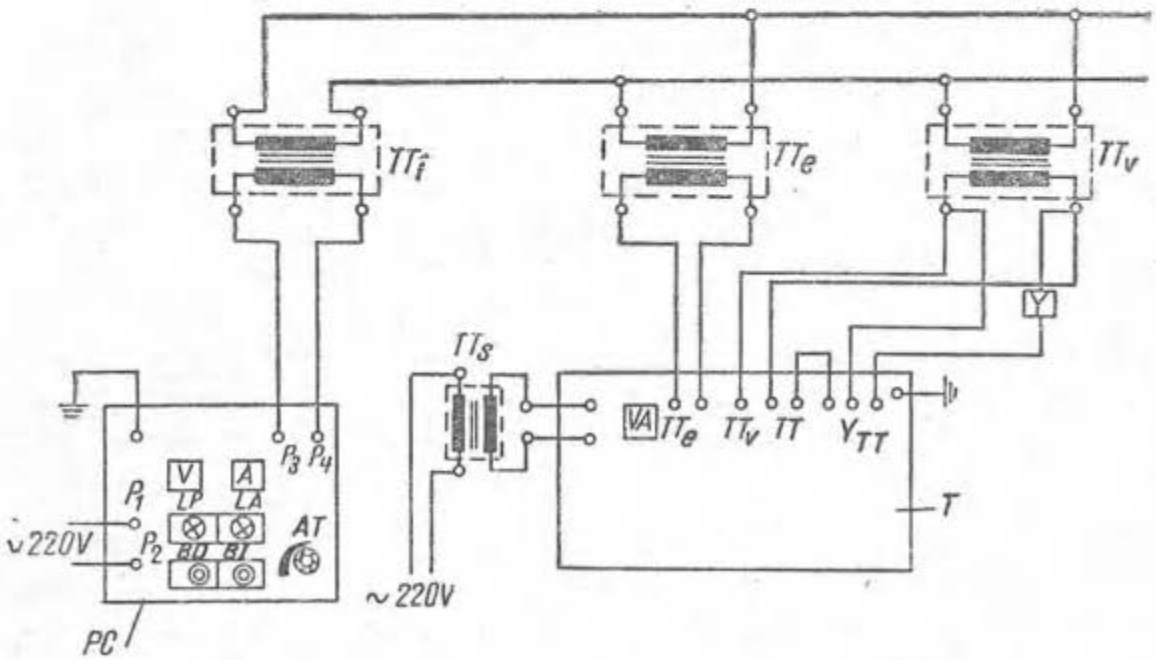



Fig. 5.42. Schema de montaj pentru verificarea transformatoarelor montate în instalații.

În cazul cînd eroarea de raport și cea de unghi se măsoară la transformatoarele de tensiune montate în instalații, avînd ca sarcină secundară circuitul secundar exterior pe care-l alimentează, se procedează ca mai sus, însă schema de montaj este cea din fig. 5.42, în care $Y$ reprezintă chiar sarcina secundară reală (aparatele de măsurat și releele).

### 5.10.3. *Măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent*

În scopul lărgirii domeniului de măsurare se construiesc în mod obișnuit transformatoare de curent cu înfășurarea primară comutabilă (adică cu două sau patru secțiuni de bobinaj), raportul de comutare fiind 1 : 2 sau 1 : 2 : 4. Aceste raporturi de comutare se obțin prin legarea secțiunilor în serie sau paralel. Transformatoarele de curent au o înfășurare primară comună (care poate fi formată din maximum patru secțiuni) pentru una pînă la trei înfășurări secundare distincte, dispuse separat pe cîte un circuit magnetic și avînd caracteristici diferite (clasă de precizie diferită). Raportul de transformare efectiv (real) al transformatorului de curent se definește similar cu cel al transformatorului de tensiune. Verificarea prin măsurări a raportului de transformare nominal $k_n$ al transformatorului de curent se face în același scop ca și în cazul transformatoarelor de tensiune, iar cauzele ce pot genera diferențe esențiale față de raportul indicat de fabrică sînt aceleași. Pentru efectuarea măsurărilor de verificare a raportului de transformare al transformatorului de curent este necesară o sursă de curent care să poată debita un curent avînd valoarea egală cu curentul nominal primar al transformatorului ce se măsoară. Aparatajele ce pot fi utilizate drept sursă de curent primar sînt *trusa tip TC-600-1* (fig. 5.43) sau *trusa TC-1200-1* (fig. 5.44), ambele portabile și construite de IRME București. Ele sînt asemănătoare din punct de vedere constructiv, avînd următoarele elemente:

— un transformator monofazat, a cărui înfășurare secundară este formată din mai multe secțiuni, ce pot fi legate în serie sau paralel cu ajutorul unor eclise dispuse

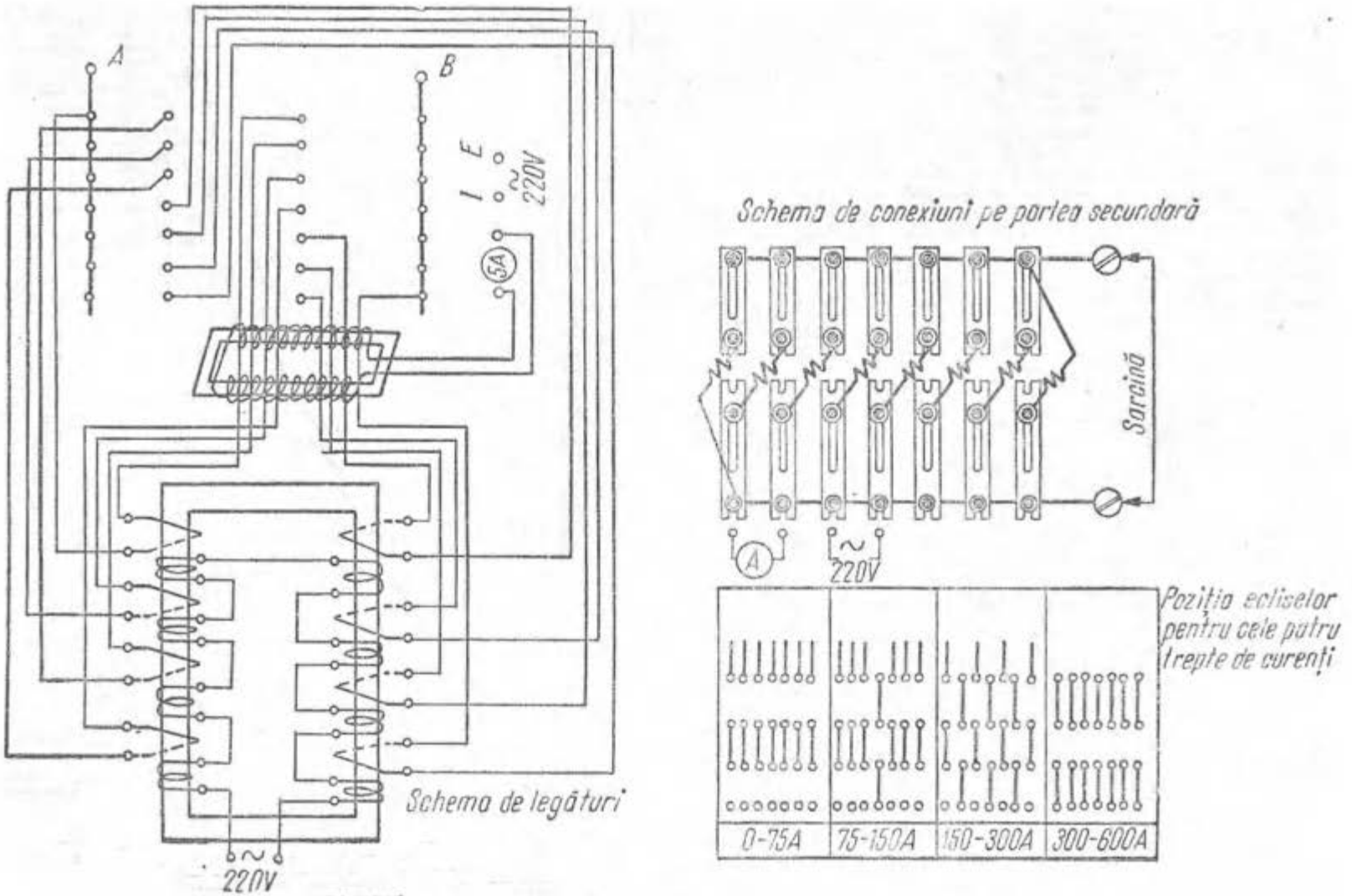
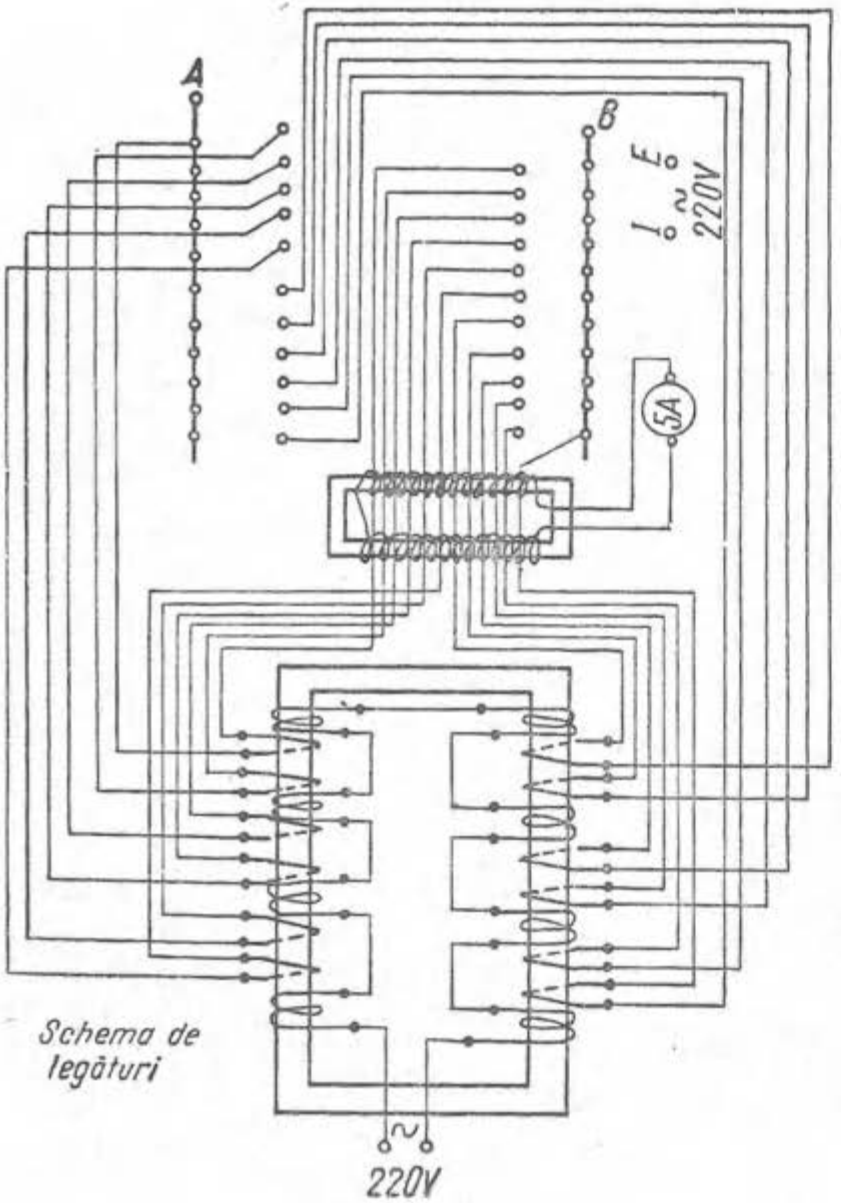
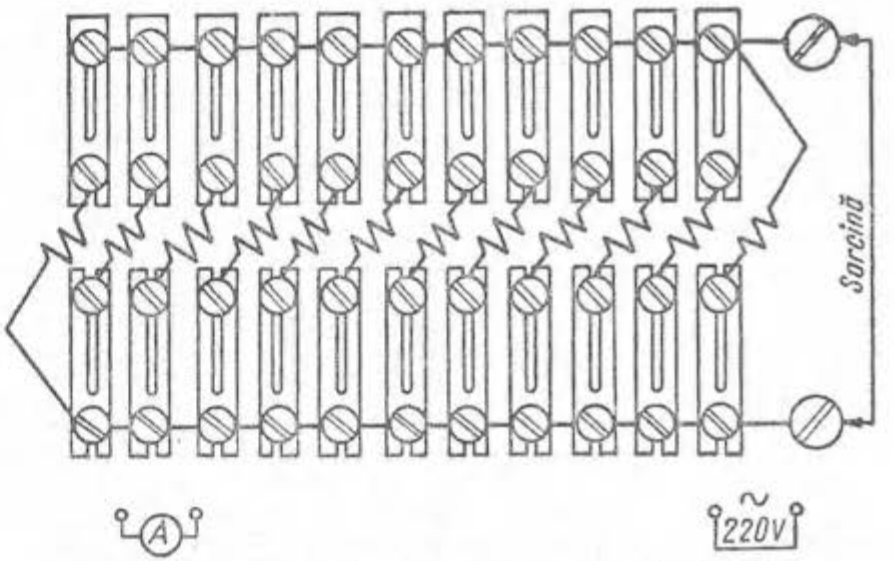



Fig. 5.43. Trusă TC-600-1.




Schema de conexiuni pe partea secundară




Poziția ecliselor pentru cele șase trepte de curenți

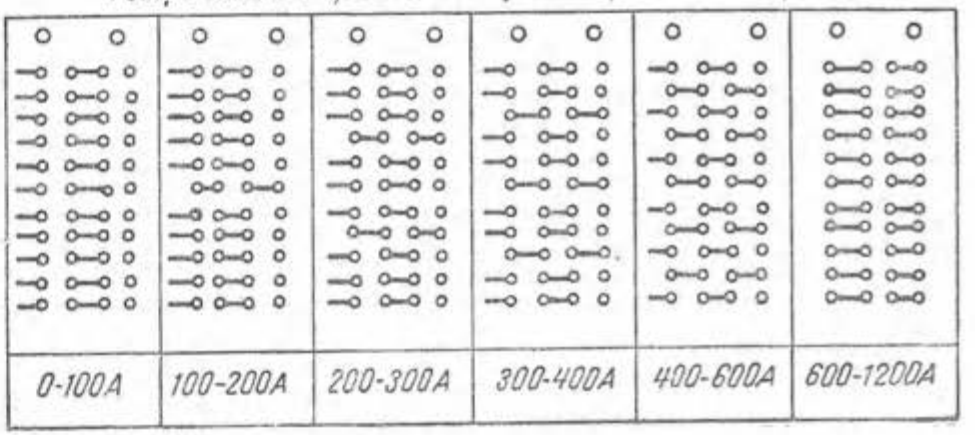



Fig. 5.44. Trusă TC-1200-1.

pe o placă montată la partea superioară a cutiei (aceasta are o înfășurare primară, la care se aplică tensiunea reglabilă 0—220 V);

— un transformator de curent tip bară, pentru măsurarea curentului debitat de transformatorul monofazat de putere.

Pe placa superioară sînt montate bornele de alimentare ale trusei cu tensiune reglabilă, bornele prin care se debitează curent pe transformatorul de măsură și bornele la care se leagă ampermetrul pentru măsurarea curentului debitat (tabelul 5.16).

**Caracteristicile tehnice ale truselor TC (IRME)** *Tabelul 5.16*

| Caracteristica | Trusa TC-1 200-1 | Trusa TC-600-1 |
|---|---|---|
| Tensiunea nominală, în V | 220 | 220 |
| Puterea absorbită de la rețea, în VA | 2000 | 1500 |
| Puterea nominală debitată de trusă pe toate treptele de curent, în VA | 1000 | 1000 |
| Durata admisibilă de funcționare la puterea nominală, în min | 3 | 3 |
| Clasa de precizie, în % | 2,5 | 2,5 |
| Treptele de curent ce se pot obține, în A | *I*=0—1200<br>*II*=0—600<br>*III*=0—400<br>*IV*=0—300<br>*V*=0—200<br>*VI*=0—100 | *I*=0—600<br>*II*=0—300<br>*III*=0—150<br>*IV*=0—75 |
| Durata de repaus a trusei între două funcționări, în min | 10 | 10 |

Pregătirea trusei în vederea efectuării încercării constă în următoarele operații:

— se alege treapta de curent a trusei, în funcție de valoarea curentului primar nominal al transformatorului de curent ce se verifică (dacă se verifică un transformator avînd raportul 600/5/5 A, cu trusa TC-600-1, pe aceasta se fixează treapta *I*(0-600 A), respectiv dacă se utilizează trusa TC-1200-1, pe aceasta se va fixa treapta *II*(0-600 A); fixarea treptei se face prin dispunerea ecliselor conform schemei din fig. 5.43, respectiv 5.44;

— la bornele notate cu 5 A se leagă un ampermetru de curent alternativ clasa 2,5, cu domeniul de măsură 0-5 A;

— se leagă bornele notate cu *sarcină* prin două conductoare multifilare de cupru izolate, avînd minimum 240 mm² și o lungime cît mai scurtă, la bornele *K* și *L* ale transformatorului de curent;

— la bornele de alimentare notate pe trusă cu 220 V se leagă prin două conductoare bornele $P_3$ și $P_4$ ale pupitrului de comandă prin care se aplică trusei tensiunea reglabilă 0-220 V.

Determinarea prin măsurări a raportului de transformare al transformatorului de curent se poate face cu aparatajul de mai sus, prin trei metode: metoda directă, metoda indirectă (ce se aplică în întreprinderi sub denumirea de verificare internă) și metoda comparației.

#### 5.10.3.1. Metoda directă

Aceasta este folosită în cazurile în care valoarea curentului primar nominal al transformatorului de curent ce se verifică este cuprinsă în limitele domeniului de măsură al ampermetrului $A_2$ (fig. 5.45), cu care se măsoară direct curentul primar. În scopul efectuării măsurărilor se execută montajul din fig. 5.45, în care ampermetrele trebuie să aibă clasa de precizie corespunzătoare clasei de precizie a lui $TC_v$. Efectuarea măsurării constă în reglarea tensiunii cu ajutorul mînerului *AT* din *PC*, astfel încît la ampermetrul $A_2$ să se citească succesiv următoarele valori ale curentului: 0,1 $I_{1n}$; 0,2 $I_{1n}$; $I_{1n}$ și 1,2 $I_{1n}$. În momentul cînd la ampermetrul $A_2$ se citesc aceste valori, se vor citi și valorile

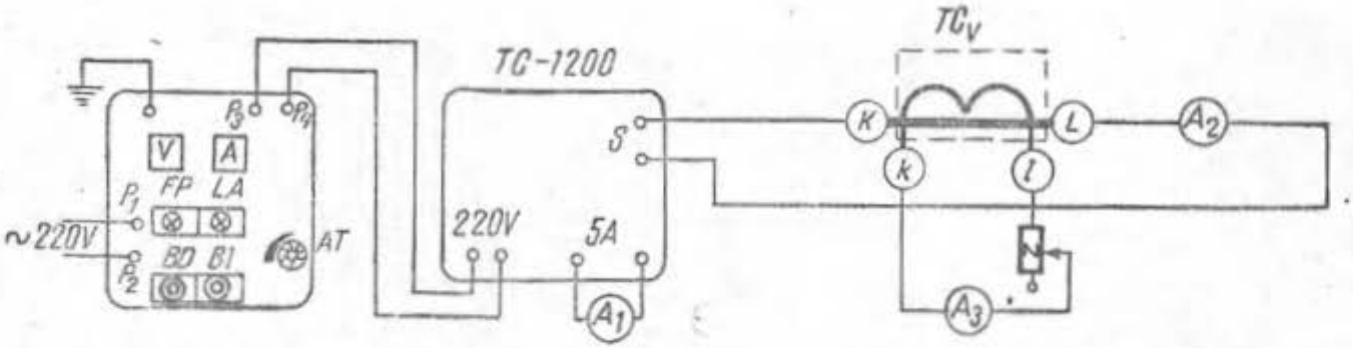



Fig. 5.45. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent prin metoda directă:

*PC* — pupitrul de comandă; *TC* — trusă de 1 200 A; $TC_v$ — transformator de verificat; $A_1$, $A_2$, $A_3$ — ampermetre; Z — impedanță.

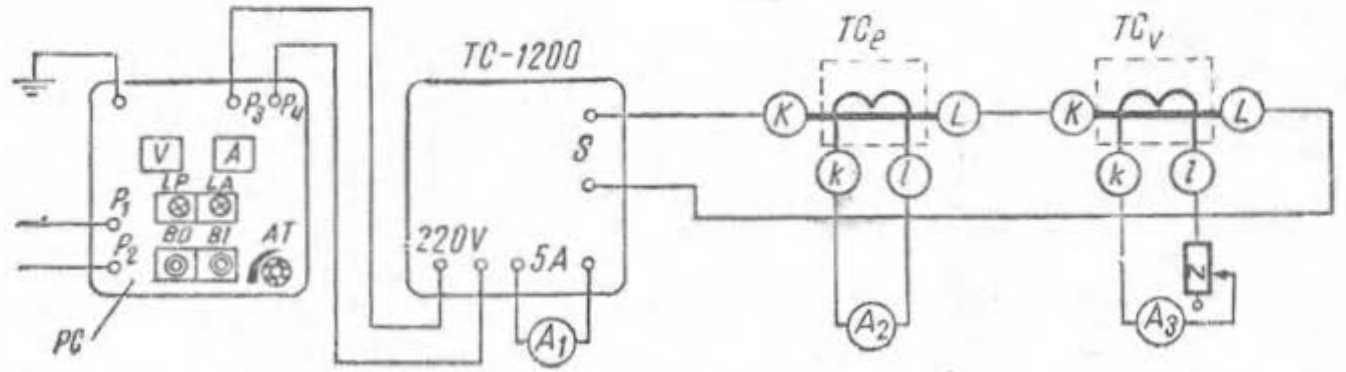



Fig. 5.46. Schema de montaj pentru măsurarea raportului de transformare a transformatoarelor de curent, prin metoda indirectă:

*PC* — pupitrul de comandă; *TC* — trusă de 1200 A; $TC_e$ — transformator de curent etalon; $TC_v$ — transformatorul supus verificării.

corespunzătoare indicate de ampermetrul $A_3$, montat în secundarul transformatorului de verificat. Prin împărțirea indicațiilor lui $A_2$ la cele ale lui $A_3$, se obține valoarea raportului de transformare, după care se poate calcula eroarea de raport. Măsurarea se efectuează pentru fiecare înfășurare secundară a lui $TC_v$ în parte. Este comod ca valorile citite la aparatele de măsurat în timpul măsurărilor să se treacă într-un tabel. Se consideră că transformatorul de verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare, dacă erorile de raport calculate sînt mai mici decît cele indicate în tabelul 5.17.

*Tabelul 5.17*

**Valorile maxime admise ale erorii de raport $\Delta_i$, în % [30]**

| Clasele de precizie ale lui $TC_v$ | Valorile curentului $I_1$, în % din $I_{1n}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,1 $I_{1n}$ | 0,2 $I_{1n}$ | $I_{1n}$ | 1,2 $I_{1n}$ |
| 0,5 | ±1 | ±0,75 | ±0,5 | +0,5 |
| 1 | ±2 | ±1,5 | ±1 | ±1 |
| 3 sau $D$ | — | — | ±3 | — |

5.10.3.2. **Metoda indirectă**

Aceasta este folosită în cazul cînd nu se dispune de ampermetre pentru măsurarea directă a curentului din primar. În cadrul acestei metode, ampermetrul $A_2$ se conectează nu în primar ci în secundarul unui transformator de curent etalon $TC_e$ (fig. 5.46). Măsurarea se efectuează ca și în cazul metodei directe, fixîndu-se aceleași valori pentru curentul primar $I_1$ care se citesc pe ampermetrul $A_2$, ținînd cont de raportul de transformare al lui $TC_e$. La această metodă se deosebesc două cazuri, și anume:

1. Cazul cînd transformatorul $TC_v$ are același raport cu $TC_e$, astfel că ampermetrele ($A_2$ și $A_3$) trebuie să indice aceleași valori, fiind identice. Diferența dintre indicațiile celor două ampermetre reprezintă eroarea de raport a transformatorului $TC_v$, eroare ce se calculează cu formula $\Delta_i = \frac{A_3 - A_2}{A_2} 100$ [%], în care $A_2$ și $A_3$ sînt indicațiile ampermetrelor respective.

2. Cazul cînd transformatorul $TC_v$ are raport de transformare diferit de cel al transformatorului $TC_e$. În acest caz, eroarea de raport a lui $TC_v$ se calculează cu relaţia $\Delta_i = \frac{k_v A_3 - k_e A_2}{k_e A_2} 100\,[\%]$, în care $k_e$ şi $k_v$ reprezintă rapoturile de transformare nominale ale lui $TC_e$ respectiv $TC_v$, iar $A_2$ şi $A_3$ reprezintă indicaţiile ampermetrelor respective. Se consideră că transformatorul verificat corespunde din punctul de vedere al raportului de transformare dacă indicaţiile sînt cele din tabelul 5.17.

### 5.10.3.3. Metoda comparaţiei

**Principiul de funcţionare al trusei AIT.** Acesta rezultă din analiza schemei prezentate în fig. 5.47, schemă ce se utilizează la verificarea transformatorului de curent. Din schemă se observă că transformatorul de verificat $TC_v$ şi

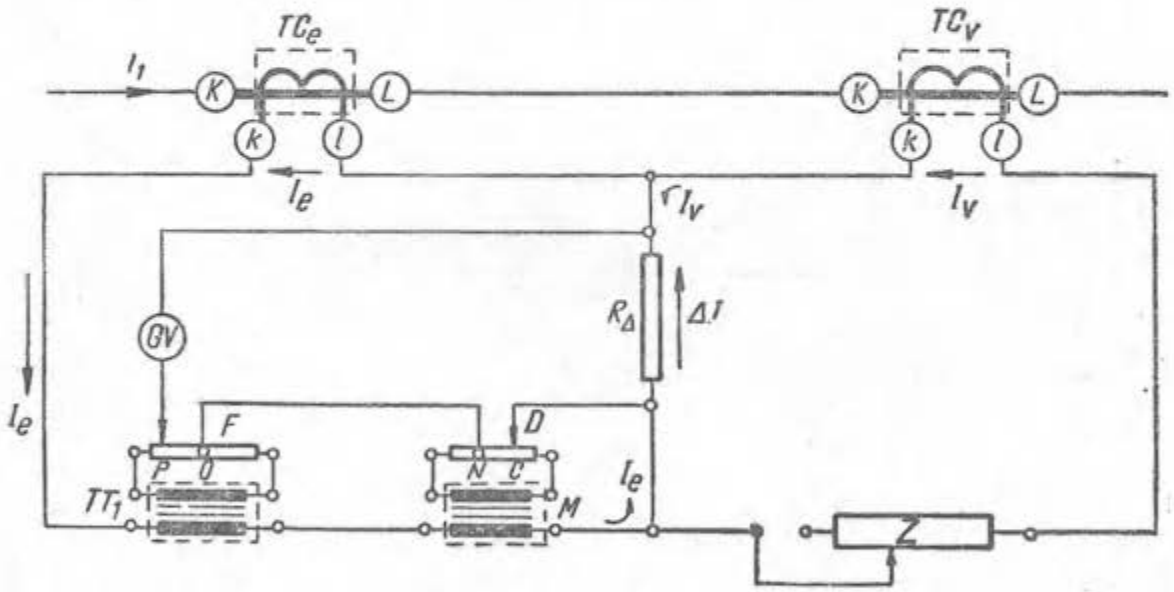



Fig. 5.47. Schema trusei AIT, folosită la verificarea transformatoarelor de curent:

$TC_v$ — transformator de verificat; $TC_e$ — transformator etalon; $TT_1$ — transformator intermediar; $M$ — regulator de fază; $F$ şi $D$ — potenţiometre cu fir; $R$ — rezistenţă diferenţială; $Z$ — impedanţă din circuitul secundar al transformatorului de verificat.

cel etalon $TC_e$, avînd acelaşi raport de transformare, au înfăşurările primare legate în serie şi parcurse deci de acelaşi curent $I_1$. Secundarul lui $TC_e$ alimentează instalaţia de măsurare a trusei cu curentul $I_e$, iar secundarul lui $TC_v$ o

alimentează cu curentul $I_v$. Prin rezistența $R$ , cei doi curenți au sensuri contrare, ceea ce înseamnă că prin această rezistență va trece un curent egal cu diferența lor, adică $\Delta I = I_e - I_v$. Dacă cei doi curenți secundari sînt egali, prin rezistența $R_\Delta$ curentul va fi zero, ceea ce înseamnă că transformatorul $TC_v$ are același raport și aceleași eroare de raport și de unghi ca și transformatorul etalon $TC_e$. În cazul cînd $TC_v$ are erorile de raport și unghi diferite de $TC_e$, prin rezistența $R_\Delta$ va circula curentul $\Delta I$, determinat de diferența geometrică a curenților $I_e$ și $I_v$, așa cum se vede și în diagrama fazorială din fig. 5.48. Curentul $\Delta I$ din rezistența $R_\Delta$ are două componente, și anume

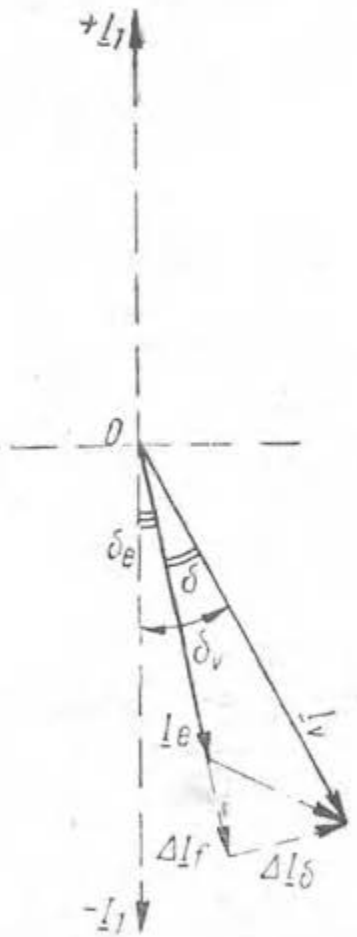



Fig. 5.48. Diagrama fazorială a curenților din schema de măsurare a trusei AIT.

una în fază cu curentul $I_e$, notată cu $\Delta I_f$, iar a doua decalată față de $I_e$ cu 90°, notată cu $\Delta I\delta$. Se observă de asemenea că dacă unghiul $\delta_v$ este egal cu unghiul $\delta_e$, curentul $I_v$ ar fi în fază cu curentul $I_e$, dar mai mare ca va-

loare decît acesta, tocmai cu cantitatea $\Delta I_f$. Raportul $\Delta_i = \frac{\Delta I_f}{I_e}$ [%] este deci chiar valoarea cu care eroarea de raport a lui $TC_v$ este mai mare decît eroarea etalonului $TC_e$, în cazul cînd $I_v > I_e$ şi mai mică cînd $I_v < I_e$. Eroarea de raport a transformatorului de verificat faţă de aceea a transformatorului etalon va fi:

$$\Delta_i = \Delta_{iv} - \Delta_{ie} = \frac{I_f}{I_e} 100 \ [\%].$$

Examinînd cea de-a doua componentă a lui $\Delta I$, şi anume $\Delta I_\delta$, se observă că aceasta este proporţională cu tangenta unghiului $\delta$ dintre curenţii $I_v$ şi $I_e$ ($\delta = \delta_v - \delta_e$). Cînd $\delta$ şi componenta $\Delta I_f$ au valori mici, atunci raportul $\frac{\Delta I \delta}{I_e}$ reprezintă chiar valoarea unghiului $\delta$, care este de fapt diferenţa dintre erorile de unghi ale celor două transformatoare. Ea se poate exprima prin relaţia

$$\delta = \delta_v - \delta_e = \frac{360 \cdot 60 \, \Delta I_\delta}{2\pi I_e} = 3438 \, \frac{\Delta I_\delta}{I_e} \ [\text{min}].$$

Eroarea $\delta$ se consideră pozitivă cînd $I_v$ este decalat înaintea lui $I_e$ şi negativă în cazul cînd $I_v$ este decalat în urma lui $I_e$.

Curentul $\Delta I$, parcurgînd rezistenţa $R_\Delta$, provoacă o cădere de tensiune pe această rezistenţă. Aceasta are două componente corespunzătoare celor două componente ale curentului $\Delta I$. Cele două căderi de tensiuni se compensează în trusa AIT cu ajutorul căderilor de tensiune culese de pe porţiunea $PO$ a potenţiometrului $F$($U_{PO}$ în fază cu $I_e$) şi de pe $NC$ a potenţiometrului $D$($U_{NC}$ decalată cu 90° faţă de $I_e$). Cu ajutorul potenţiometrului $F$ se reglează căderea de tensiune $U_{PO}$, cu care se compensează căderea de tensiune produsă de $\Delta I_f$ pe rezistenţa $R_\Delta$, iar cu potenţiometrul $D$ se reglează căderea de tensiune $U_{NC}$, cu care se compensează căderea de tensiune produsă de componenta $\Delta I \delta$ pe rezistenţa $R_\Delta$. Rezultă că, la echilibrarea trusei, între valoarea rezistenţei lui $F$ şi eroarea de raport a transformatorului de curent, precum şi între rezistenţa lui $D$ şi

eroarea de unghi a transformatorului de curent, există o proporţionalitate care dă posibilitatea gradării scalelor lui $F$ şi $D$, direct în unităţi de măsură a erorilor respective (% şi min).

**Efectuarea măsurării erorilor transformatoarelor de curent cu trusa AIT.** Pentru efectuarea măsurării în laborator se foloseşte schema de montaj din fig. 5.49, iar pentru măsurări la transformatoarele de curent montate în instalaţii, schema din fig. 5.50, în care $Z$ reprezintă sarcina din circuitul secundar exterior. Măsurarea erorilor transformatorului de curent cu trusa AIT comportă operaţii ca şi la transformatoarele de tensiune, cu deosebirea că $K_1$ al trusei *AIT* se fixează pe poziţia de 5 A (respectiv 1 A cînd transformatorul $TC_v$ are $I_{2n}=1$ A), iar cutia de impedanţe etalon ($Z$ din fig. 5.49) se fixează la valoarea $Z_{2n}=\frac{P_{2n}}{I_{2n}^2}$ a transformatorului $TT_v$. Pentru exemplificare, în tabelul 5.18 sînt indicate valorile obţinute la măsurarea erorilor unui transformator CIRS-10 de 250/5/5 A, clasa 0,5/3, $P_{2n}=10/30$ VA, avînd $n<5/5$, conectat pentru raportul de transformare de 100/5/5 A.

*Tabelul 5.18*

**Rezultatele măsurării erorilor transformatorului CIRS-10 pentru clasa 0,5**

| Curentul primar de încercare $I_1$, în A | Sarcina secundară $Z_2$, în Ω | Eroarea de raport $\Delta_i$, în % | Eroarea de unghi $\delta_i$, în min |
|---|---|---|---|
| $0{,}1\ I_{1n}=10$ | $Z_2=\frac{P_{2n}}{I_{2n}^2}=\frac{10}{25}=0{,}4$ | −0,34 | +12 |
| $0{,}2\ I_{1n}=20$ | | −0,21 | + 9 |
| $0{,}5\ I_{1n}=50$ | | −0,01 | + 2,5 |
| $I_{1n}=100$ | | +0,1 | −2,0 |
| $1{,}2\ I_{1n}=120$ | | +0,09 | −1,5 |

Cu valorile din tabelul 5.18 se pot trasa curbele erorilor ($\Delta_i$ şi $\delta_i$), în funcţie de curentul $I_1$ din primarul transformatorului.

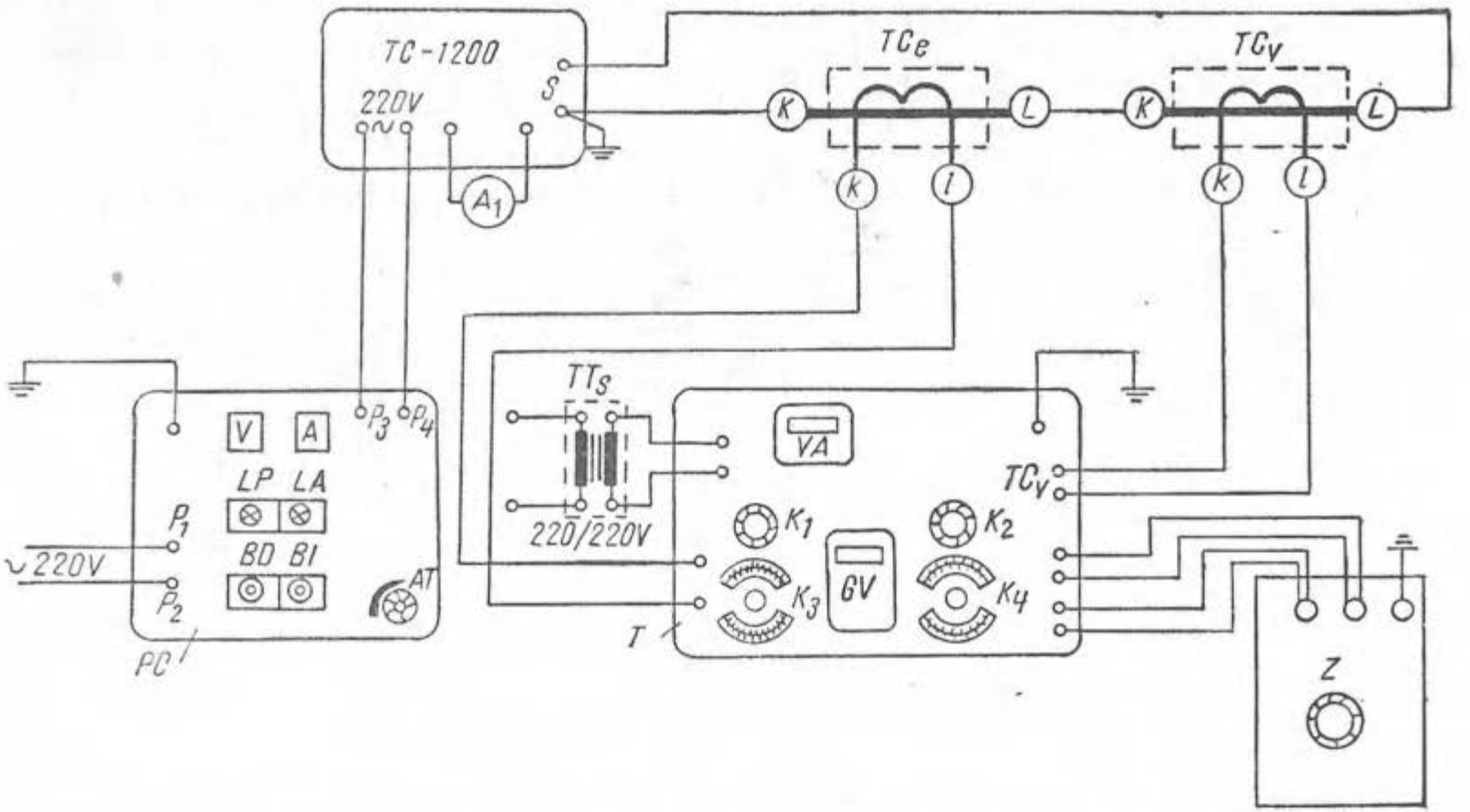



Fig. 5.49. Schema de montaj pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de curent cu trusa AIT, în laborator:

*PC* — pupitrul de comandă; *T* — trusă AIT; $TT_s$ — transformator de separare; *TC* — trusă de 1200 A; $TC_e$ — transformator de curent etalon; $TC_v$ — transformator de curent ce se verifică; *Z* — cutie de impedanțe etalon.

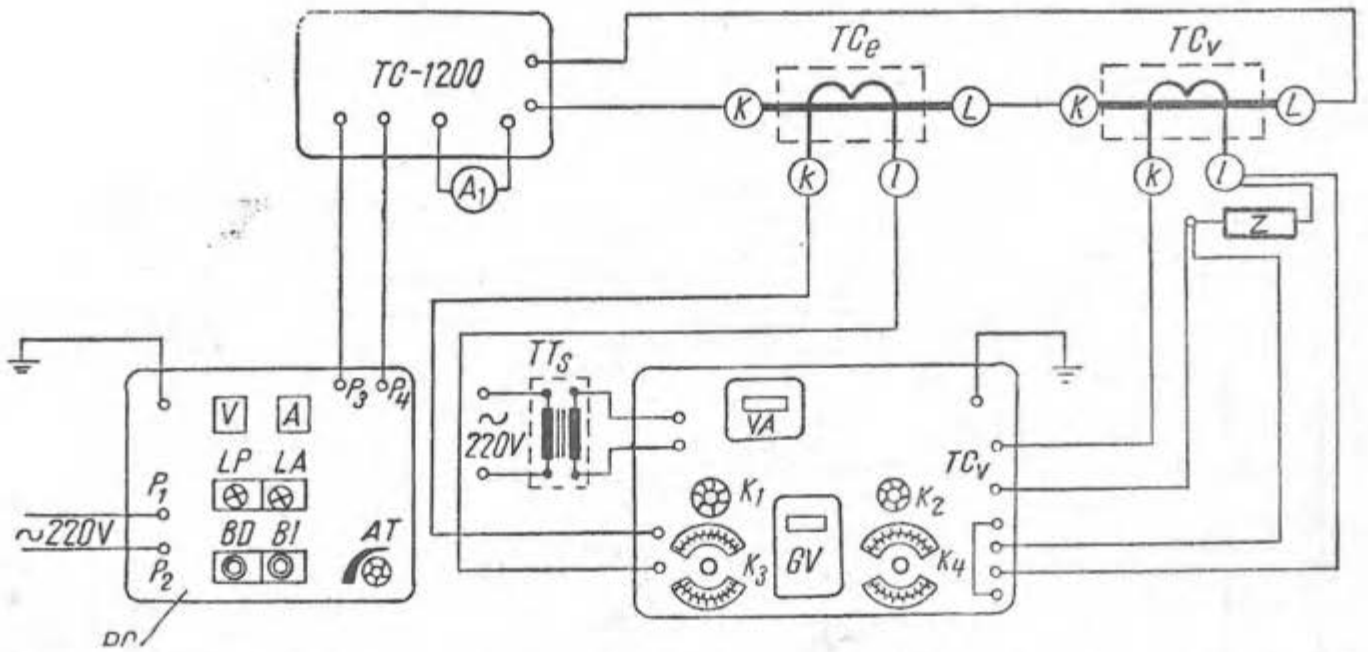



Fig. 5.50. Schema de montaj pentru măsurarea erorilor transformatoarelor de curent montate în instalații, cu trusa AIT.

## 5.11. Ridicarea curbei volt-amper a transformatoarelor de curent

Această măsurare se face la punerea în funcțiune a transformatoarelor de curent, după reparația miezului magnetic și a înfășurărilor, precum și în exploatare — în cazul cînd este necesară elucidarea unor funcționări incorecte ale protecțiilor — în cadrul analizelor de avarii. Pentru funcționarea corectă a unor protecții și automatizări, cum este cazul protecției diferențiale, a filtrelor de secvență homopolară etc., este necesar să se folosească transformatoare care să posede caracteristici volt-amper foarte apropiate (aproape identice). Prin caracteristică volt-amper sau caracteristică de mers în gol se înțelege curba care reprezintă dependența dintre tensiunea la bornele înfășurării secundare și curentul ce parcurge această înfășurare, atunci cînd înfășurarea primară nu este conectată, adică curba $U_{2n}=f(I_{2n})$. Ridicarea acestei curbe se face cu ajutorul montajului din fig. 5.51 și comportă mai multe operații.

— Se dezleagă înfășurarea secundară și cea primară față de restul instalațiilor.

— Se măsoară rezistența de izolație a transformatorului de curent și, în cazul cînd se obțin valori corespunză-

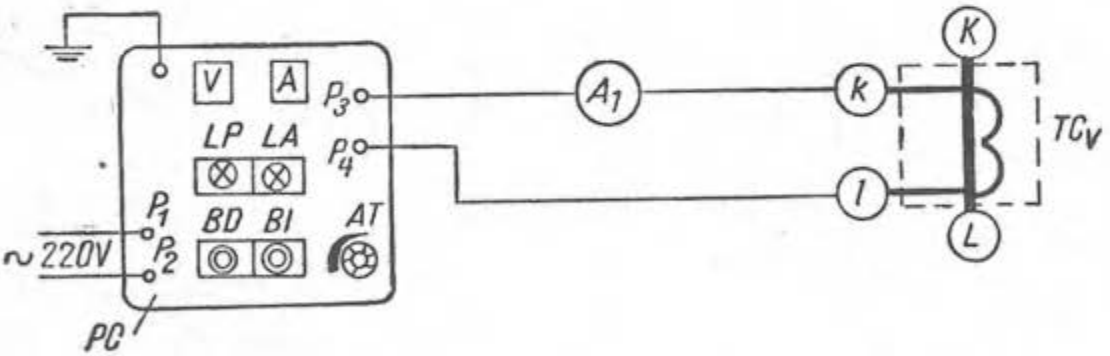



Fig. 5.51. Schema de montaj pentru ridicarea curbei volt-amper a transformatoarelor de curent.

toare, se execută montajul din fig. 5.51 și apoi măsurările ce urmează:

— Cu ajutorul lui *AT* din *PC*, se aplică înfășurării secundare a transformatorului $TC_v$ tensiuni între 0 și 220 V,

pentru fiecare valoare a tensiunii aplicate citindu-se valorile corespunzătoare ale curentului. Citirile se fac în timpul creşterii tensiunii şi nu în timpul coborîrii acesteia (nu se va depăşi 2 $I_n$).

— Cu valorile citite se trasează curba volt-amper, care poate avea una din formele indicate în fig. 5.52. Transfor-

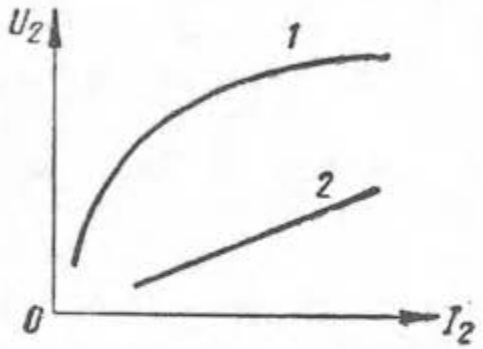



Fig. 5.52. Alura curbelor volt-amper ale transformatoarelor de curent:
*1* — curba unui transformator corespunzător; *2* — curba unui transformator necorespunzător.

matorul verificat se consideră corespunzător dacă are o curbă volt-amper de forma *1* şi necorespunzător dacă are o curbă de forma 2. Toate transformatoarele de curent de acelaşi tip folosite la o protecţie diferenţială sau filtru de secvenţă homopolară trebuie să aibă curbe de forma *1* identice (sau aproape suprapuse).

## 5.12. Măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune

Această măsurare se efectuează la punerea în funcţiune şi după reparaţia înfăşurărilor, cu ajutorul montajului din fig. 5.53. Cu ajutorul pupitrului de comandă *PC* se ridică tensiunea pînă se ajunge la valoarea tensiunii nominale a înfăşurării secundare a lui $TT_v$, care se citeşte pe voltmetrul $V_1$. În momentul cînd transformatorului $TT_v$ i s-a aplicat $U_{2n}$, se citeşte la miliampermetrul $A_1$ valoarea curentului absorbit de transformator. Transformatorul verificat $TT_v$ se consideră corespunzător din acest punct de vedere, dacă valoarea măsurată a curentului nu diferă faţă de va-

lorile indicate de întreprinderea constructoare decît în limita clasei de precizie a aparatelor de măsurat.

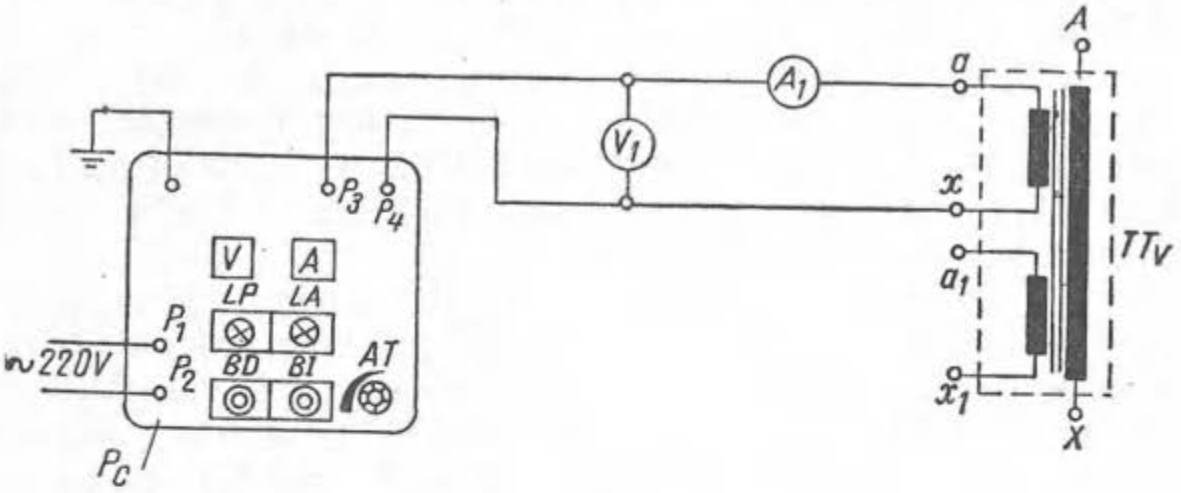



Fig. 5.52. Schema pentru măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune:
PC — pupitrul de comandă; $TT_v$ — transformatorul supus verificării.

## 5.13. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură

### 5.13.1. *Noţiuni generale*

Cunoaşterea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură prezintă o importanţă deosebită, deoarece aceasta influenţează erorile de măsură ale transformatoarelor. Din acest motiv trebuie să se măsoare sarcina secundară a transformatoarelor de măsură, la punerea lor în funcţiune şi cînd apar modificări în circuitele secundare. Pentru a stabili dacă sarcina secundară a transformatoarelor de măsură nu este depăşită, rezultatele măsurărilor trebuie comparate cu următoarele caracteristici ale acestora:

— Puterea nominală $P_{2n}$ a transformatorului de tensiune, definită la § 5.10.2.

— Puterea nominală maximă $P_{max}$ a transformatorului de tensiune (este puterea aparentă în volt-amperi, măsurată la bornele secundarului în regim de lungă durată, tensiunea primară avînd valoarea nominală, fără a se lua în considerare erorile şi fără depăşirea limitelor de încălzire admise ale diferitelor părţi ale transformatorului).

— Puterea nominală $P_n$ a transformatorului de curent exprimată în volt-amperi, care este definită ca fiind produsul dintre sarcina nominală $Z_{2n}$, în ohmi, și pătratul curentului nominal secundar $I_{2n}$, adică $P_{2n}=Z_{2n}I_{2n}^2$.

— Sarcina nominală secundară $Z_{2n}$ este sarcina în secundarul transformatorului de curent, exprimată în ohmi (înscrisă pe plăcuța indicatoare), pentru care erorile nu trebuie să depășească limitele corespunzătoare clasei de precizie a transformatorului.

— Sarcina secundară $Z_2$ a transformatorului de curent este impedanța în ohmi a circuitului secundar exterior (format din aparatele și conductoarele de legătură), conectat la înfășurarea secundară a transformatorului. Sarcina secundară conectată la transformatoarele de măsură poate fi apreciată după cum urmează:

1. În cazul transformatoarelor de tensiune este necesar să fie îndeplinită condiția $P_{2n}>P_2$ ($P_2$ fiind puterea absor-

*Tabelul 5.19*

**Puterea consumată de aparatele conectate în secundarul transformatoarelor de tensiune [30]**

| Tipul aparatului | Denumirea aparatului | Puterea necesară pe fază, în VA |
|---|---|---|
| Indicator | Voltmetru electromagnetic | 8 |
| | Frecvențmetru | 2,5 |
| | Wattmetru ferodinamic | 3,5 |
| | Wattmetru de inducție | 3,5 |
| Înregistrator | Voltmetru | 15-20 |
| | Contor de inducție | 0,7-5 |
| Regulator | Regulator automat de tensiune tip BBC-1 B 1/1 la 110 V | 40 |
| Relee | Minimal de tensiune | 7-12 |
| | De distanță | 15-65 |
| | De protecție contra punerilor la pământ | 15-25 |

bită de toate aparatele de măsurat şi releele conectate la bornele secundare ale transformatorului, tabelul 5.19).

Dacă aparatele de măsurat şi releele legate pe secundarul transformatorului de tensiune nu reprezintă sarcini pur active ci au un factor de putere $\cos\varphi<1$, puterea absorbită de ele (sarcina legată la transformator) se determină cu relaţia

$$P_2=\sqrt{(\Sigma S_{aparat}\cos\varphi_{aparat})^2+(\Sigma S_{aparat}\sin\varphi_{aparat})^2}=$$

$$=\sqrt{(\Sigma P_{aparat})^2+(\Sigma Q_{aparat})^2},$$

în care: $\Sigma S_{aparat}$ este suma puterilor aparente absorbite de toate aparatele legate la secundarul transformatorului;

$\cos\varphi_{aparat}$ — factorul de putere al tuturor aparatelor legate la secundarul transformatorului;

$\Sigma P_{aparat}$ — puterea activă absorbită de toate aparatele;

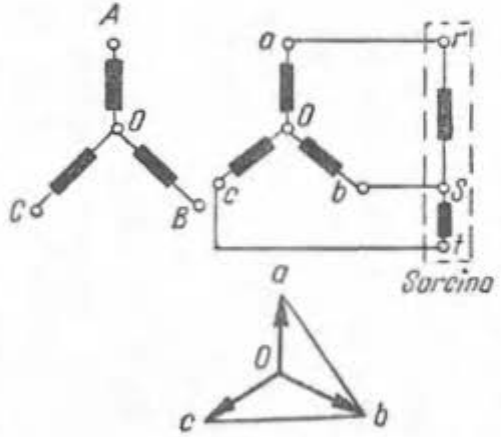
$\Sigma Q_{aparat}$ — puterea reactivă absorbită de toate aparatele.

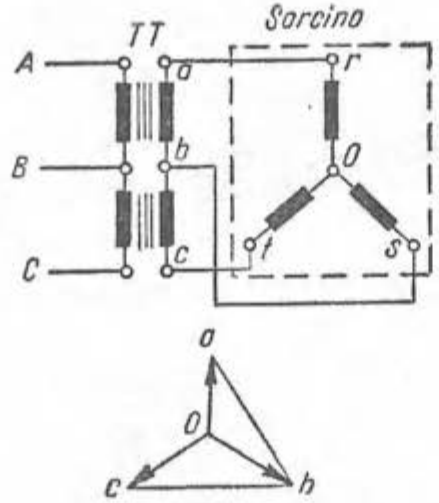
Întrucît nu toate fazele transformatorului de tensiune sînt încărcate egal este necesar să se determine puterea fazei celei mai încărcate şi apoi să se compare cu puterea disponibilă pe fază a transformatorului, ţinînd cont de clasa de precizie necesară. La calculul puterii absorbite de aparatele de măsurat şi relee (sarcina) din secundarul transformatorului monofazat de tensiune, respectiv a sarcinii pe o fază a transformatorului trifazat de tensiune, este necesar să se ţină cont de schema de conexiuni a secundarelor transformatoarelor de tensiune şi a aparatelor. Formulele de calcul al sarcinii fiecărei faze a transformatorului de tensiune, în funcţie de schema de conexiuni a înfăşurărilor secundare şi a aparatelor la aceste secundare, sînt indicate în tabelul 5.20.

2. În cazul transformatoarelor de curent, este necesar să fie îndeplinită condiţia $Z_{2n}>Z_2$. Sarcina secundară $Z_2$ se calculează cu relaţiile din tabelul 5.21, în funcţie de schema

*Tabelul 5.20*

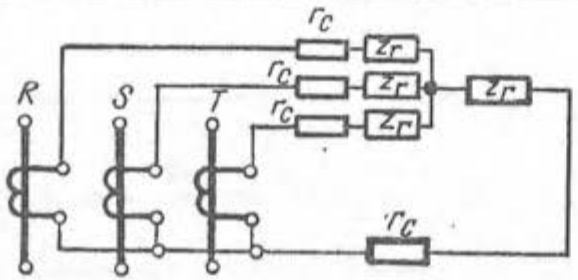
**Relațiile de calcul al sarcinilor pe fiecare fază a transformatorului de tensiune [33]**

| Denumirea schemei de conexiuni | Schema de conexiuni a înfășurărilor secundare ale transformatorului și a aparatelor | Faza | Relațiile de calcul al sarcinilor activă și reactivă pe fază |
|---|---|---|---|
| Legarea aparatelor de tip wattmetric la tensiunea de linie, pe secundarul transformatorului trifazat |  | *a* | $P_{2a}=\frac{P_{2rs}}{\sqrt{3}}\cos(\varphi_{rs}-30°)$<br>$Q_{2a}=\frac{P_{2rs}}{\sqrt{3}}\sin(\varphi_{rs}-30°)$ |
| | | *b* | $P_{2b}=\frac{P_{2rs}}{\sqrt{3}}\cos(\varphi_{rs}+30°)+P_{2st}\cos(\varphi_{st}-30°)$<br>$Q_{2b}=\frac{P_{2rs}}{\sqrt{3}}\sin(\varphi_{rs}+30°)+P_{2st}\sin(\varphi_{st}-30°)$ |
| | | *c* | $P_{2c}=\frac{P_{2rs}}{\sqrt{3}}\cos(\varphi_{st}+30°)$<br>$Q_{2c}=\frac{P_{2st}}{\sqrt{3}}\sin(\varphi_{st}+30°)$ |

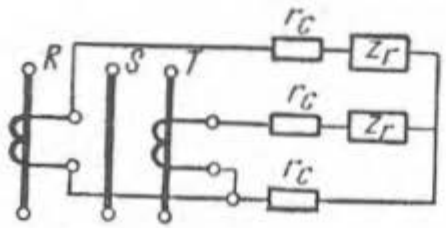
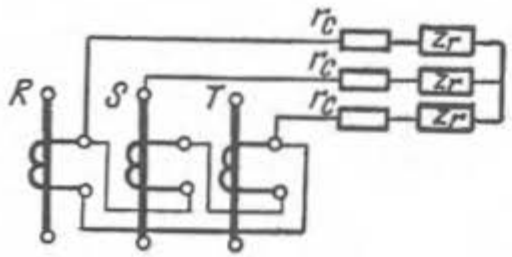
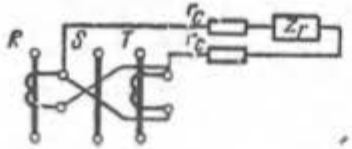
| | | | |
|---|---|---|---|
| Legarea a două transformatoare monofazate în V și legarea în stea a aparatelor de tip wattmetric |  | $ab$ | $P_{2ab} = \sqrt{3}P_{2r}\cos(\varphi_a+30°)$<br>$Q_{2ab} = \sqrt{3}P_{2r}\sin(\varphi_a+30°)$ |
| | | $bc$ | $P_{2bc} = \sqrt{3}P_{2r}\cos(\varphi_a-30°)$<br>$Q_{2bc} = \sqrt{3}P_{2r}\sin(\varphi_a-30°)$ |

*Tabelul 5.21*

**Relațiile de calcul al sarcinii secundare $Z_2$ a transformatoarelor de curent [3]**

| Denumirea conexiunii secundarelor trasformatoarelor | Schema de conexiuni a secundarelor transformatoarelor de curent | Tipul scurtcircuitului | Relația de calcul al sarcinii $Z_2$ conectate la bornele secundare ale transformatoarelor de curent | Coeficient de schemă |
|---|---|---|---|---|
| Stea |  | Trifazat și bifazat | $Z_2 = r_c + Z_r + r_t$ | 1 |
| | | Monofazat | $Z_2 = 2r_c + Z_r + Z_{ro} + r_t$ | |

*Tabelul 5.21* (continuare)

| Denumirea conexiunii secundarelor transformatoarelor | Schema de conexiuni a secundarelor transformatoarelor de curent | Tipul scurtcircuitului | Relaţia de calcul al sarcinii $Z_2$ conectate la bornele secundare ale transformatoarelor de curent | Coeficient de schemă |
|---|---|---|---|---|
| Stea incompletă |  | Trifazat | $Z_2=\sqrt{3}\,r_c+Z_r+r_t$ | 1 |
| | | Bifazat şi monofazat | $Z_2=2r_c+Z_r+r_t$ | |
| Triunghi |  | Trifazat şi bifazat | $Z_2=3r_c+3Z_r+r_t$ | $\sqrt{3}$ |
| | | Monofazat | $Z_2=2r_c+2Z_r+r_t$ | |
| În opt |  | Trifazat | $Z_2=\sqrt{3}(2r_c+Z_r)+r_t$ | $\sqrt{3}$ |
| | | Bifazat RT | $Z_2=4r_c+2Z_r+r_t$ | |
| | | Bifazat RS şi ST | $Z_2=2r_c+Z_r+r_t$ | |

de conexiuni a transformatorului de curent şi în funcţie de tipul scurtcircuitului.

Notaţiile din acest tabel au următoarea semnificaţie:

$r_c$ este rezistenţa conductoarelor de legătură;

$r_t = 0{,}5 \ldots 1\ \Omega$ — rezistenţa de trecere (de contact);

$Z_r$ — impedanţa totală a bobinelor releelor şi aparatelor de măsurat (valorile ei se iau din prospectele aparatelor respective).

Calculul aproximativ al puterii consumate de aparatele conectate la bornele secundare ale transformatoarelor de curent se poate efectua utilizînd datele din tabelele 5.22 şi 5.23.

*Tabelul 5.22*

**Puterea consumată de diferitele aparate conectate la bornele secundare ale transformatoarelor [30]**

| Tipul aparatului | Denumirea aparatului conectat la bornele înfăşurării secundare a transformatoarelor de curent | Puterea necesară pe fază VA |
|---|---|---|
| Indicator | Ampermetru electromagnetic | 0,7—3 |
| | Ampermetru de inducţie | 3 —5 |
| | Wattmetru ferodinamic | 3 —5 |
| | Wattmetru de inducţie | 1 |
| Înregistrator | Ampermetru | 6 —9 |
| | Contor de inducţie | 0,6—2 |
| Regulator | Regulator automat de tensiune tip BBC-1 B VI la 5 A | 100—120 |
| Relee | De supracurent, electromagnetic | 5— 9 |
| | De supracurent, termic | 5—14 |
| | Diferenţial de curent | 5 |
| | De distanţă | 5 |

*Tabelul 5.23*

**Puterea consumată de conductoarele de legătură, la trecerea unui curent de 5 A [30]**

| Tipul conductorului și secțiunea corespunzătoare, în mm² | Puterea consumată într-un conductor bifilar cu o lungime de 10 m, în VA |
|---|---|
| Conductor de cupru de 2,5 | 3,5 |
| Conductor de cupru de 4 | 2,2 |
| Conductor de cupru de 6 | 1,5 |
| Conductor de cupru de 10 | 0,9 |
| Conductor de aluminiu de 2,5 | 11,5 |
| Conductor de aluminiu de 4 | 7,5 |
| Conductor de aluminiu de 6 | 5,0 |
| Conductor de aluminiu de 10 | 3,0 |

### 5.13.2. *Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune*

După cum s-a arătat la § 5.13.1, pentru ca transformatorul de tensiune să nu iasă din clasa de precizie, este necesar să fie îndeplinită condiția $P_{2n} > P_2$. Puterea $P_2$ a aparatelor alimentate de transformator se poate scrie și sub forma

$$P_2 = U_{2n} I_2 = U_{2n} \frac{U_{2n}}{Z_2} = \frac{U_{2n}^2}{Z_2} = U_{2n}^2 Y_2,$$

unde $Y_2$ este inversul impedanței și se numește *admitantă*. Se observă de aici că puterea absorbită de aparatele conectate la secundarul transformatorului va fi cu atît mai mică cu cît impedența $Z_2$ formată de acestea va fi mai mare. Din acest motiv, impedanța $Z_2$ măsurată trebuie să fie mai mare decît impedanța nominală $Z_{2n}$ a transformatorului de tensiune. Măsurarea impedanței $Z_2$ sè poate face prin metoda volt-ampermetrică și prin metoda de măsurare cu trusa AIT.

**Metoda volt-ampermetrică.** Aceasta constă în aplicarea unei tensiuni egale cu $U_{2n}$, circuitului format de toate aparatele conectate la secundarul transformatorului și măsurarea curentului absorbit de acest circuit. Măsurarea se efectuează cu ajutorul montajului din fig. 5.54, în care s-a luat, de exemplu, o celulă de măsură cu două transformatoare de tensiune tip TIRB-15, avînd raportul de transformare 15 000/100 V, legate în montaj V, care alimentează un circuit secundar compus din aparate de măsurat (V, W, var, Wh) și relee de tensiune *RT*. După ce transformatoarele de tensiune s-au scos din funcțiune se dezleagă de la bornele secundare *ax* firele ce pleacă spre aparatele de măsurat și relee, apoi firele se leagă ca în montajul din fig. 5.54. Cu ajutorul mînerului *AT* din *PC*, se reglează tensiunea la valoarea $U_{2n}=100$ V (care se citește la voltmetrul $V_1$) și cînd circuitului i s-a aplicat această tensiune, se citește indicația ampermetrului $A_1$. Pentru obținerea valorii impedanței se împarte indicația voltmetrului $V_1$ la aceea a ampermetrului $A_1(Z_2=V_1/A_1)$. După efectuarea acestei măsurări, tensiunea se aplică prin permutări circulare la fazele *ST* și *TR* procedînd ca mai sus. Valoarea cea mai mică obținută la cele trei măsurări (*RS*, *ST*, *TS*), trebuie să fie mai mare decît $Z_{2n}$. În caz contrar, trebuie înlăturate o parte din aparate și relee sau trebuie alese alte reductoare cu $P_{2n}$ mai mare.

*Tabelul 5.24*

**Valoarea impedanței măsurate $Z_2$**

| Fazele între care se aplică tensiunea | Valorile citate | | Valoarea calculată ($Z_2=V_1/A_1$) Ω |
|---|---|---|---|
| | la voltmetrul $V_1$ | la ampermetrul $A_1$ | |
| *RS* | 100 | 1,2 | 83,3 |
| *ST* | 100 | 0,8 | 125 |
| *TR* | 100 | 0,7 | 143 |

La măsurare s-au citit valorile indicate în tabelul 5.24. Rezultă că impedanța $Z_2$ de pe fazele *ST* și *TR* corespunde, avînd valori mai mari decît $Z_{2n}=111\ \Omega$, iar impedanța $Z_2$

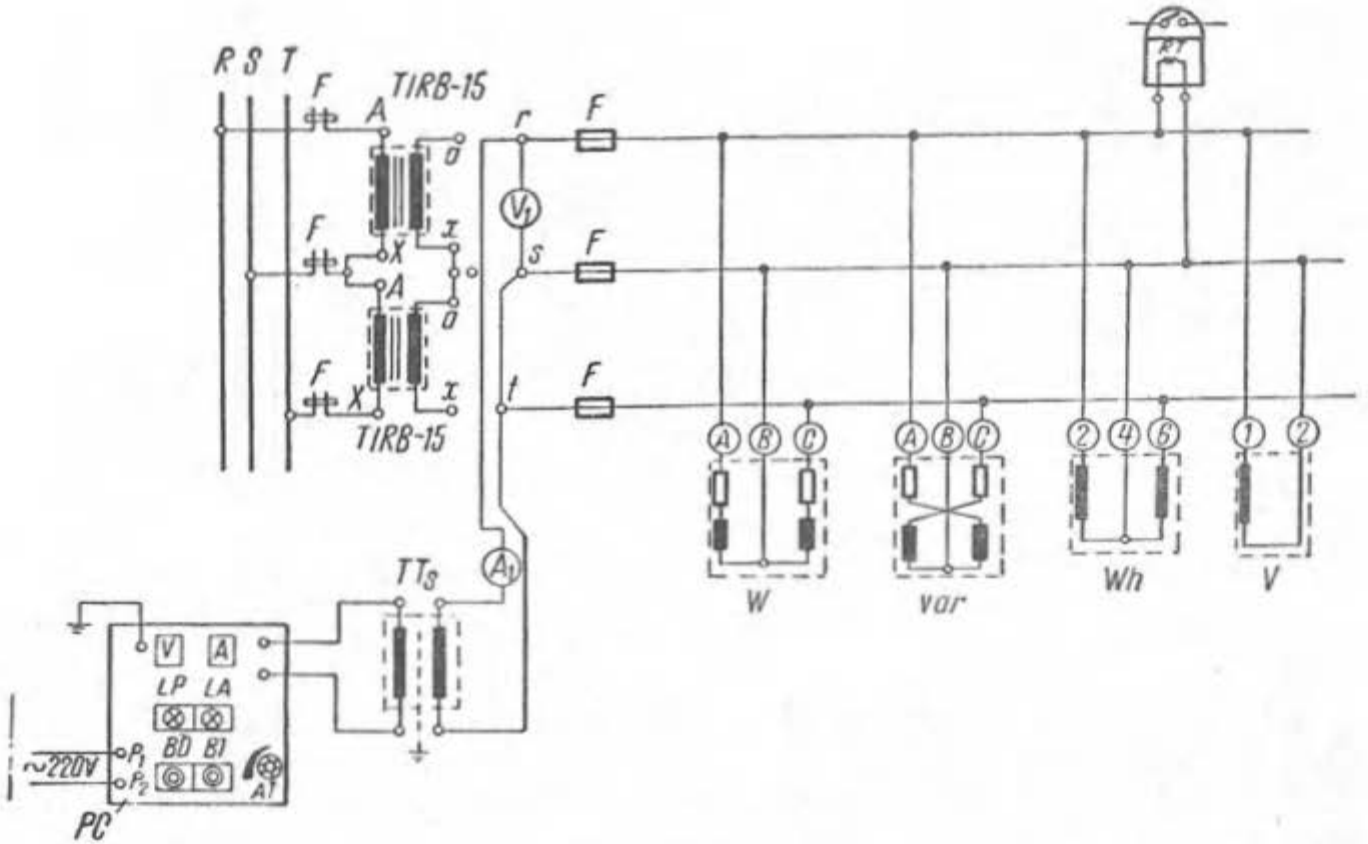



Fig. 5.54. Schema pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune, prin metoda volt-amper:

*PC* — pupitrul de comandă $TT_S$ — transformator de separare; *V* — voltmetru; *W* — wattmetru; *var* — varmetru; *Wh* — contor de energie activă; *RT* — releu de tensiune.

de pe fazele *RS* nu corespunde, avînd valoarea mai mică decît $Z_{2n}$. Pentru reglementare, în cazul de faţă problema poate fi rezolvată printr-o nouă redistribuire a aparatelor de măsurat şi a releelor între faze. Astfel, ar trebui deconectate aparatele sau relele alimentate de fazele *RS* şi legate pe fazele *ST*, după care se reface măsurarea.

**Metoda de măsurare cu trusa AIT.** În fig. 5.55 este redată schema de principiu a trusei AIT, folosită în cazul măsurării sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune. La bornele rezistenţei $R_N$ (legată în serie în circuitul lui $TT_v$) se leagă prin galvanometrul *GV* potenţiometrele *F*

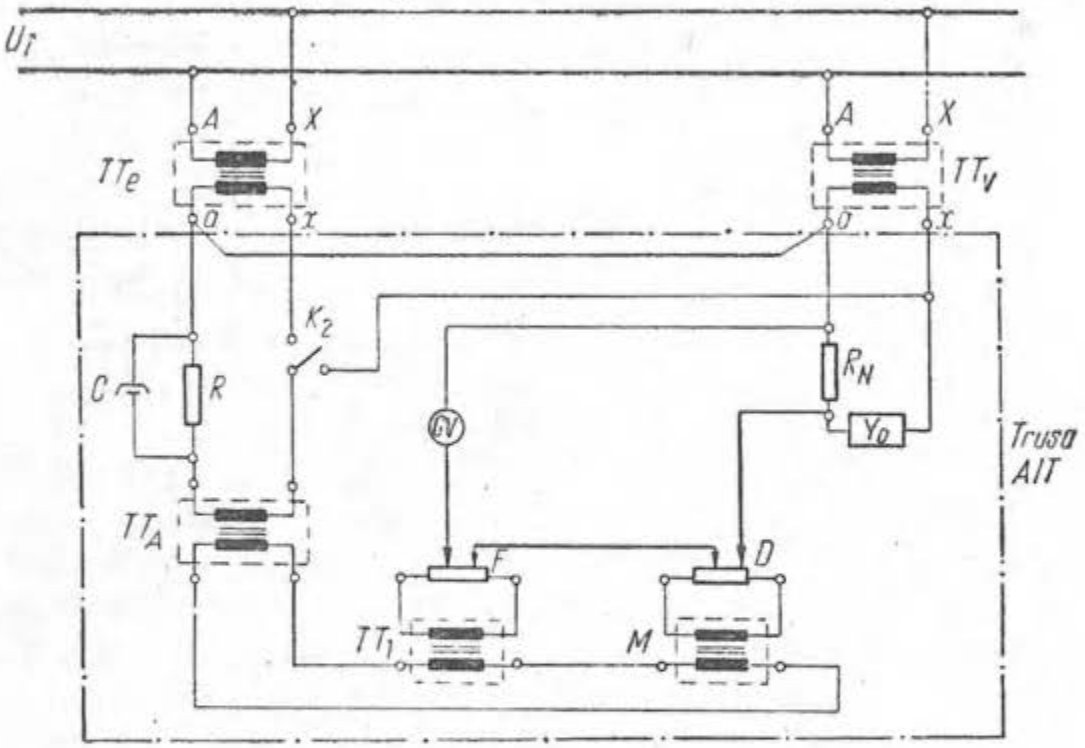



Fig. 5.55. Schema de principiu a trusei AIT pentru cazul măsurării sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune:

$TT_e$ — transformator etalon; $K_2$ — comutator; *C* — condensator; $TT_A$ — transformator auxiliar; $TT_v$ — transformator de încercat; *GV* — galvanometru cu vibraţii; *R*, $R_N$ — rezistenţe; $TT_1$ — transformator; *D*, *F* — potenţiometre cu fir; *M* — regulator de fază; $Y_0$ — admitanţă.

şi *D*, care compensează căderea de tensiune de pe $R_N$. Rezistenţa $R_N$ este legată în serie cu admitanţa $Y_0$, conectată la bornele secundare ale lui $TT_v$. Prin comutatorul $K_2$, se alimentează de la secundarul lui $TT_v$, schema de măsură a trusei *AIT*, care cuprinde şi transformatorul $TT_A$. Şi în

acest caz, căderea de tensiune pe rezistența $R_N$ are o componentă activă $g$ și una reactivă $b$, compensate de potențiometrele $F$, respectiv $D$. Schema de montaj pentru măsurarea efectivă a sarcinii este redată în fig. 5.42, dar se poate utiliza și schema de montaj din fig. 5.56. Pentru măsurarea sarcinii se efectuează aceleași operații ca și la măsurarea erorilor transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că $K_2$ se fixează pe una din pozițiile scalei *VIII*. Citirea rezultatelor se face: pe scala *I* a lui $K_3$ pentru pozițiile *10* și *100* ale lui $K_2$, sau pe scala *II* pentru pozițiile *3*;

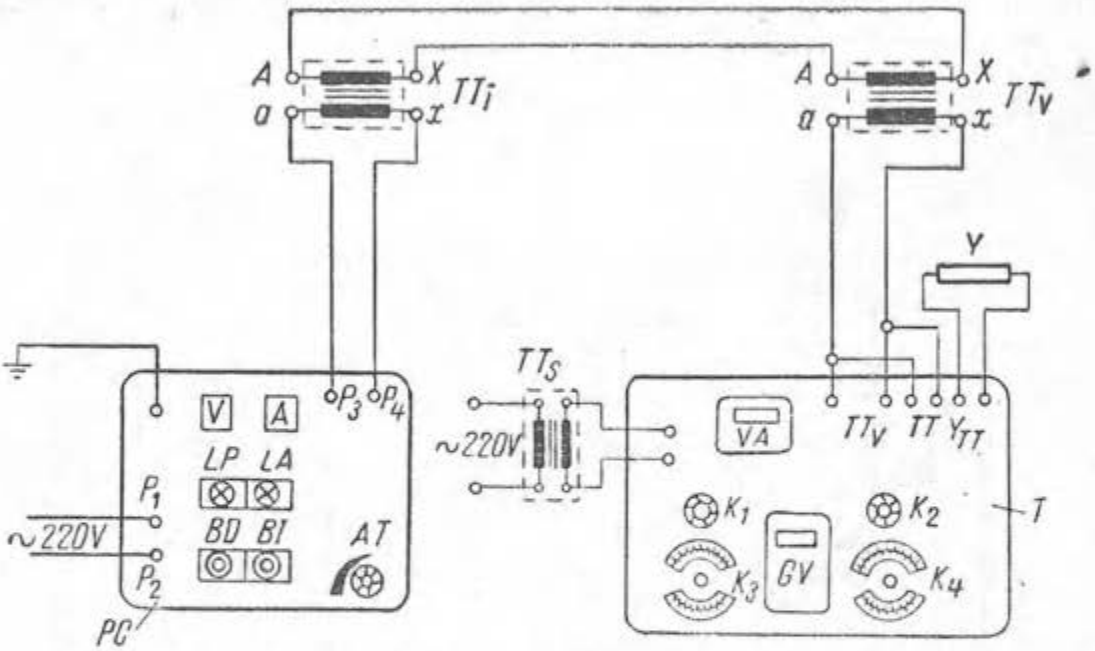



Fig. 5.56. Schema de montaj pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune:

*T* — trusă AIT; $TT_v$ — transformatorul ce se verifică; $TT_i$ — transformator de încercare; *PC* — pupitrul de comandă; $TT_s$ — transformator de separare; *Y* — cutie de impedanță.

*30* și *300* ale lui $K_2$ (pentru $g_2$); pe scala *IX* pentru poziția *100* respectiv pe scala *X* pentru pozițiile *3*; *30* și *300* ale lui $K_2$ (pentru $b_2$). Rezultatele citirilor se înmulțesc cu un coeficient $K''$, ale cărui valori sînt indicate în tabelul 5.25.

Valoarea sarcinii secundare se obține cu relațiile:

$$g_2 = K''\alpha;$$

$$b_2 = K''\beta;$$

$$Y_2 = 1/Z = \sqrt{g_2^2 + b_2^2},$$

*Tabelul 5.25*

**Valorile lui $K''$ pentru diferite poziții ale lui $K_2$ pe scala *VIII* [34]**

| Poziția lui $K_2$ pe scala *VIII*, $10^{-4}$ 1/Ω | 3 | 10 | 30 | 100 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|
| Valorile lui $K''$ | $10^{-4}$ | $10 \cdot 10^{-4}$ | $10 \cdot 10^{-4}$ | $100 \cdot 10^{-4}$ | $100 \cdot 10^{-4}$ |

în care $\alpha$ și $\beta$ sînt diviziunile citite pe scalele indicate mai sus (ale comutatoarelor $K_3$ și $K_4$).

Se poate calcula și factorul de putere al sarcinii secundare cu relația

$$\cos \varphi = g_2 / \sqrt{g_2^2 + b_2^2};$$

cu valoarea obținută pentru $Y_2$ se calculează puterea absorbită de circuitul secundar ($P_2 = U^2 Y_2$), care trebuie să fie mai mică sau cel mult egală cu $P_{2n}$.

### 5.13.3. *Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent*

Conform celor precizate în § 5.13.1, condiția ce trebuie îndeplinită de transformatoarele de curent, din punctul de vedere al sarcinii ce poate fi conectată pe secundarul lor, este $Z_{2n} > Z_2$. Pentru măsurarea sarcinii secundare $Z_2$ a transformatoarelor de curent, se pot utiliza metodele indicate mai jos.

*Metoda volt-ampermetrică.* Aceasta constă în alimentarea circuitului format de aparatele de măsurat și releele legate la bornele secundare ale transformatorului de curent cu un curent egal cu $I_{2n}$ și măsurarea căderii de tensiune pe acest circuit. Pentru aceasta se dezleagă circuitul secundar exterior de la bornele $k$, $l$ ale transformatorului și se leagă la sursa reprezentată prin pupitrul de comandă *PC*, conform fig. 5.57.

Valoarea sarcinii secundare se obține împărțind valoarea tensiunii citite pe voltmetrul $V_1$ la valoarea curentului citită pe ampermetrul $A_1$. Valoarea obținută trebuie să fie mai mică sau cel mult egală cu $Z_{2n}$.

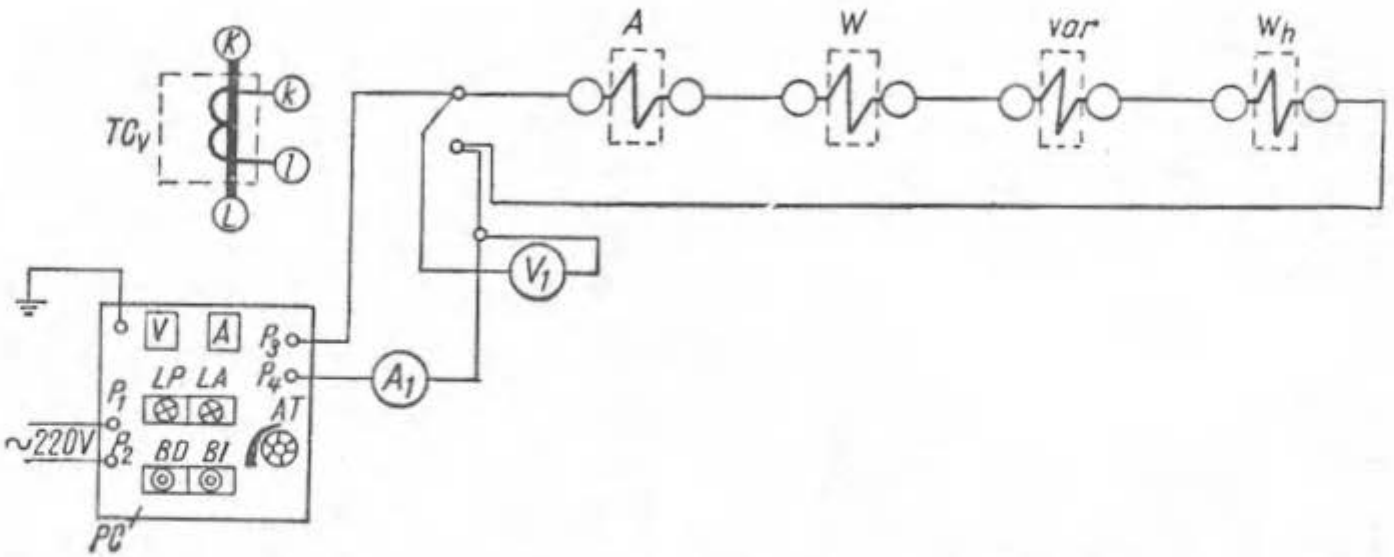



Fig. 5.57. Schema de montaj pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent:

*PC* — pupitrul de comandă; $TC_v$ — transformatorul la care se verifică sarcina secundară; $A_1$ — ampermetru; $V_1$ — milivoltmetru; *W* — bobina de curent a wattmetrului; *var* — bobina de curent a varmetrului; *Wh* — bobina de curent a contorului.

**Metoda de măsurare cu trusa AIT.** Schema de principiu folosită pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent cu trusa AIT este cea din fig 5.58, principiul de funcţionare fiind acelaşi ca la măsurarea sarcinii transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că în cazul de faţă, rezistenţa $R_N$ este înlocuită de către divizorul de tensiune $D_2$, legat în paralel cu sarcina $Z_2$ a circuitului secundar exterior. Cu ajutorul lui $F$ şi $D$ se compensează căderile de tensiune activă şi reactivă pe divizorul $D_2$. Schema de montaj pentru efectuarea practică a măsurării este cea din fig. 5.50, dar poate fi folosită şi schema din fig. 5.59. Pentru efectuarea măsurării sarcinii secundare $Z_2$, se execută aceleaşi operaţii ca şi la măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune, cu deosebirea că indicaţiile de pe scalele *I* sau *II* (pentru componenta activă $R_2$), respectiv de pe scalele *IX* sau *X* (pentru componenta reactivă $X_2$) se înmulţesc cu coeficientul $K'''$, ale cărui valori sînt indicate în tabelul 5.26.

*Tabelul 5.26*

**Valorile lui $K'''$ pentru diferite poziţii ale lui $K_2$ pe scala *VII* [34]**

| Poziţia lui $K_2$ pe scala *VII* Ω | 0,3 | 1 | 3 | 10 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|
| Valorile lui $K''$ | 0,1 | 1 | 1 | 10 | 10 |

Valorile sarcinii secundare se obţin în felul următor:

$$R_2 = K''' \alpha;$$
$$X_2 = K''' \beta;$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2};\ \cos \varphi = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}},$$

în care $\alpha$ şi $\beta$ sînt diviziunile citite pe scalele $K_3$ şi $K_4$. Valoarea obţinută pentru $Z_2$ din relaţiile de mai sus trebuie să fie mai mică, cel mult egală cu $Z_{2n}$.

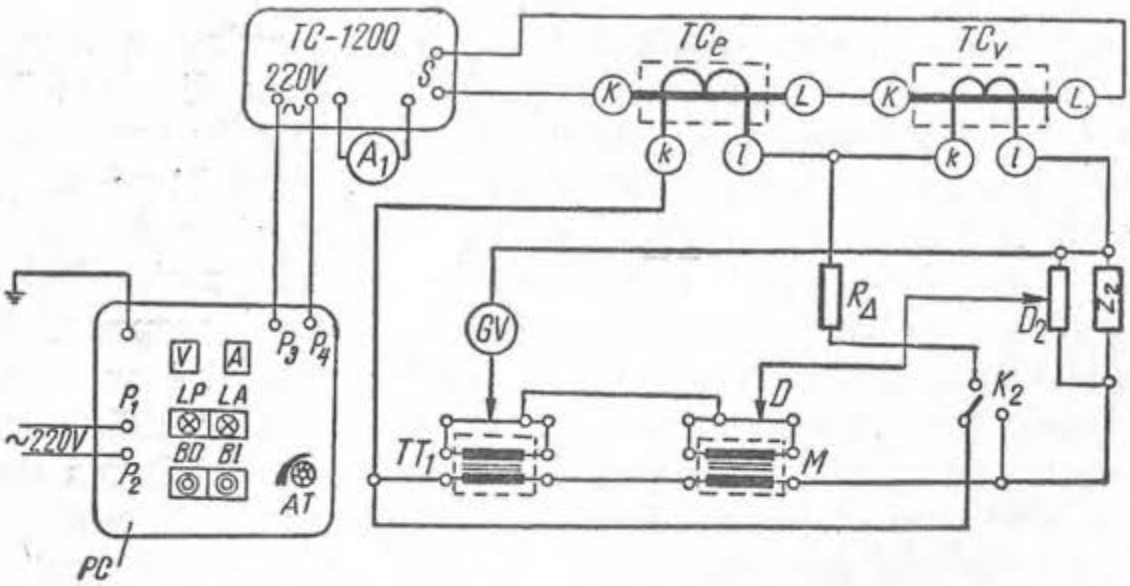



Fig. 5.58. Schema de principiu pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune cu trusa AIT:

*PC* — pupitrul de comandă; *TC* — trusă de 1200 A; $TC_e$ — transformator de curent etalon; $TC_v$ — transformatorul ce se încearcă.

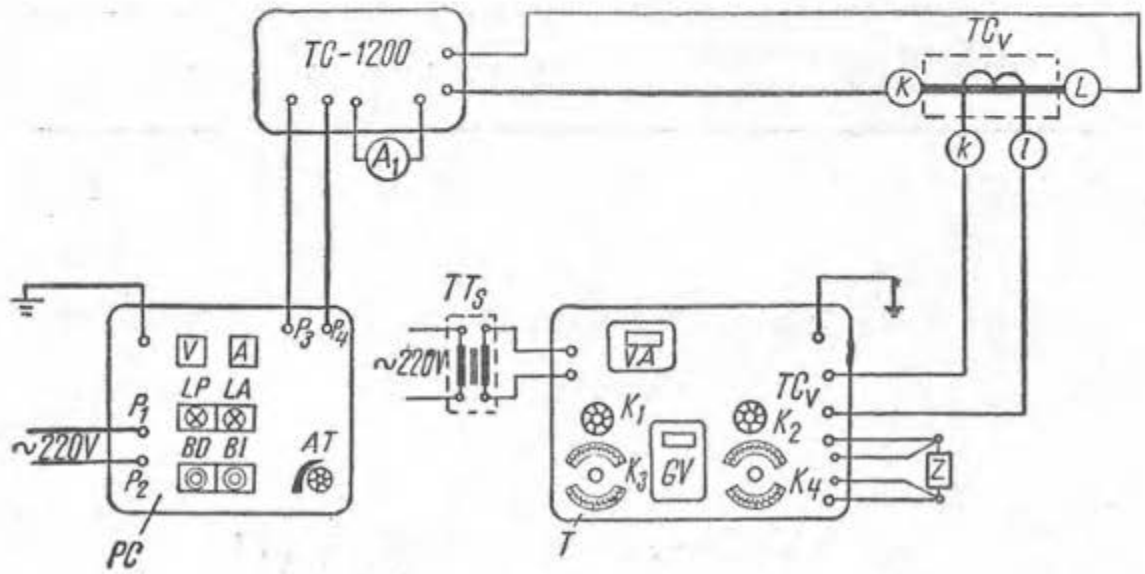



Fig. 5.59. Schema de montaj folosită pentru măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent:

*PC* — pupitrul de comandă; *TC* — trusă de 1200 A; $TC_v$ — transformatorul ce se încearcă; $TT_s$ — transformator de separare; *T* — trusă AIT.

# Bibliografie


1. *Aptov, I. S.* și *Homeakov, M. V.* **Cum se întreține uleiul electroizolant.** București, Editura tehnică, 1963.
2. *Avramescu, A.* **Solicitările echipamentului de foarte înaltă tensiune.** În: Revista Electrotehnica, nr. 12, 1959.
3. *Badea, I.* ș.a. **Protecția și automatizarea sistemelor electrice.** București, Editura tehnică, 1963.
4. *Badea, I.* ș.a. **Exploatarea instalațiilor de protecție și automatizare ale sistemelor electrice.** București, Editura tehnică, 1964.
5. *Baida, L. I.* ș.a. **Curs general de măsuri electrice.** București, Editura energetică de stat, 1953.
6. *Butchevici, I. V.* ș.a. **Partea electrică a centralelor și a stațiilor electrice.** București, Editura energetică de stat, 1953.
7. *Constantinescu, V.* **Măsurarea rezistenței de izolație.** București, Editura tehnică, 1963.
8. *Cîrstea, D.* ș.a. **Încercarea transformatoarelor II.** București, Editura tehnică, 1967.
9. *Costina, D.* ș.a. **Studii experimentale privind nivelul de izolare la impuls de tensiune al seriei noi de transformatoare de 110 kV.** În: Revista Electrotehnica, nr. 11, 1959.
10. *Drăgan Șt.* și *Gavrilă I.* **Îndrumător pentru lucrări de laborator la materiale electrotehnice.** Cluj, Atelierul de multiplicare al bibliotecii centrale a Institutului Politehnic, 1965.
11. *Drăgan, Șt.* și *Paian, S.* **Îndrumător pentru lucrări de laborator la aparate electrice.** Cluj, Atelierul de multiplicare al bibliotecii centrale a Institutului Politehnic, 1965.
12. *Dronault, A.* **Description du transformateur étalon de 1000 à 50 000 A, tension de service 220 kV.** În: Révue Générale de l'Électricité, No. 9, 1966.
13. *Gongeuil, J. C.* **Comportement des reducteurs de tension en régime transitoire.** În: Révue Générale de l'Électricité, No. 6, 1966.
14. *Hortopan, Gh.* **Tehnica impulsului în laboratorul de înaltă tensiune.** București, Editura tehnică, 1965.

15. *Harry, S.* **Metode de întreținere în exploatare a uleiului de transformator. Vol. I și II,** București, I.D.T., 1962.
16. *Kondor, T.* **Tranzistoros feszültségátalakítók.** În: Elektrotechnika, No. 4, 1965.
17. *Lazu, C.* și *Corlățeanu, V.* **Mașini electrice. Vol. I,** București, ESDP, 1962.
18. *Lefebvre, M.* **Calcul et realisation d'une maquette de transformateur de courant 220 kV, destiné à la mesure en régime transitoire.** În: R.G.E., No. 9, 1966.
19. *Mauduit, A.* **Installations électriques à haute et basse tension.** Tom. II, Paris, Dunod, 1959.
20. *Nanu, A.* **Încercarea materialelor electrotehnice.** București, Editura tehnică, 1960.
21. *Petry, H.* **Betriebssicherheit von Hochspannungsmesswandern und die zum Nachweisserforderlichen Prüfungen.** În: ETZ—A, No. 10, 1966.
22. *Rebus, W.* **Transformatoren.** În: ETZ, 1966.
23. *Sohier, J.* ș.a. **Comportament des transformateurs de courant en régime asimetrique de courtcircuit.** În: R.G.E., No. 6, 1966.
24. *Steinberg, C.* **Teoria și proiectarea aparatelor electrice. Vol. I,** București, ESDP, 1964.
25. *Săndulescu, L.* **Încercarea la impuls a echipamentului electroenergetic aflat în exploatare.** București, Sesiunea IRME, 1966.
26. *Tutovan, V.* **Introducere în măsurări electrice și magnetice.** București, ESDP, 1962.
27. D.G.M.S.I. **Instrucțiuni nr. 75/1967 pentru verificarea transformatoarelor de tensiune,** 1968.
28. D.G.M.S.I. **Instrucțiuni nr. 69/1967 pentru verificarea transformatoarelor de curent,** 1967.
29. M.E.E. **Regulament de exploatare tehnică a centralelor și rețelelor electrice.** București, O.D.P.T., 1967.
30. M.E.E. **Normativ 3E-1-1967 de încercări și măsurări la echipamente și instalații electrice, la punerea în funcțiune și în exploatare.** București, O.D.P.T., 1967.
31. M.I.C.M. **Catalog de aparate electrice de I.T. Vol. II,** București, O.D.P.T., 1967.
32. * * * **Instrucțiuni de exploatare pentru puntea Schering de gabarit mic, tip MD-16.**
33. * * * STAS 118-49; 286-63; 35-58; 811-61; 5489-56; 117-66; 23-50; 22-64; 38-64; 33-54; 6798-67; 178-49; 39-56; 30-51; 2740-60; 24-64; 7573-66.
34. * * * **Instrucțiuni de exploatare pentru trusa AIT.**

# Cuprins:


**1. Principiile de funcționare ale transformatoarelor de măsură** 3

1.1. Bazele teoretice ale funcționării transformatoarelor de măsură . . . . . 3
1.2. Rolul transformatoarelor de măsură și domeniul lor de utilizare . . . . . 4
1.3. Clasificarea transformatoarelor de măsură . . . . . 5
1.4. Caracteristicile transformatoarelor de măsură . . . . 7
1.4.1. Caracteristicile transformatoarelor de tensiune . . 7
1.4.2. Caracteristicile transformatoarelor de curent . . 8
1.5. Comportarea transformatoarelor de măsură în diferite regimuri de funcționare ale sistemului electroenergetic 9
1.6. Alegerea transformatoarelor de măsură . . . . . 10
1.6.1. Alegerea transformatoarelor de tensiune . . . . 10
1.6.2. Alegerea transformatoarelor de curent . . . . . 11

**2. Tipurile constructive și schemele electrice interioare ale transformatoarelor de măsură** . . . . . 15

2.1. Transformatoare de fabricație românească . . . . . 15
2.1.1. Transformatoare de tensiune . . . . . 15
2.1.2. Transformatoare de curent . . . . . 19
2.2. Transformatoare de fabricație străină . . . . . 26

**3. Principiile de exploatare ale transformatoarelor de măsură** 29

**4. Schemele de legare a transformatoarelor de măsură în instalațiile electroenergetice** . . . . . 30

4.1. Noțiuni generale . . . . . 30
4.2. Schemele de legare a transformatoarelor de tensiune . 33
4.2.1. Schema de legare pentru măsurarea tensiunii între faze . . . . . 33
4.2.2. Schema de legare în V . . . . . 34

4.2.3. Schema de legare în stea . . . . . 35
4.3. Schemele de legare a transformatoarelor de curent . . 39
4.3.1. Schema de legare a două transformatoare în stea incompletă . . . . . 39
4.3.2. Schema de legare a trei transformatoare în stea . 40
4.3.3. Schema filtrului de secvență homopolară . . . . 41
4.3.4. Schema de legare în triunghi . . . . . 42
4.3.5. Schema de legare în opt . . . . . 44
4.3.6. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în serie . . . . . 47
4.3.7. Schema cu înfășurările secundare ale transformatoarelor legate în paralel . . . . . 47

5. **Verificări și încercări ale transformatoarelor de măsură** . 48

5.1. Noțiuni generale . . . . . 48
5.2. Verificarea aspectului exterior . . . . . 50
5.3. Încercarea uleiului din transformatoarele de măsură . 51
5.4. Măsurarea rezistenței de izolație . . . . . 54
5.4.1. Noțiuni generale și aparatajul folosit . . . . . 54
5.4.2. Măsurarea rezistenței de izolație a înfășurărilor transformatoarelor de măsură . . . . . 58
5.5. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tg $\delta$) al izolației transformatoarelor de măsură . . . 59
5.6. Încercarea izolației cu tensiune alternativă mărită de frecvență industrială . . . . . 68
5.6.1. Noțiuni generale . . . . . 68
5.6.2. Efectuarea încercărilor . . . . . 69
5.7. Încercarea izolației cu tensiune de impuls . . . . . 74
5.8. Măsurarea rezistenței înfășurărilor . . . . . 76
5.8.1. Noțiuni generale și metode de măsurare . . . . 76
5.8.2. Efectuarea măsurărilor . . . . . 79
5.9. Determinarea polarității bornelor . . . . . 81
5.9.1. Noțiuni generale . . . . . 81
5.9.2. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de tensiune . . . . . 83
5.9.3. Verificarea polarității bornelor transformatoarelor de curent . . . . . 87
5.9.4. Verificarea legării grupelor de trei transformatoare de curent folosite pentru protecția diferențială . . . . . 90
5.10. Determinarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi . . . . . 91
5.10.1. Noțiuni generale . . . . . 91
5.10.2. Măsurarea raportului de transformare și a erorilor de raport și de unghi ale transformatoarelor de tensiune . . . . . 103
5.10.2.1. Metoda directă . . . . . 105
5.10.2.2. Metoda comparației . . . . . 111

5.10.3. Măsurarea raportului de transformare al transformatoarelor de curent . . . . . 120
5.10.3.1. Metoda directă . . . . . 124
5.10.3.2. Metoda indirectă . . . . . 126
5.10.3.3. Metoda comparației . . . . . 127
5.11. Ridicarea curbei volt-amper a transformatoarelor de curent . . . . . 133
5.12. Măsurarea curentului de mers în gol al transformatoarelor de tensiune . . . . . 134
5.13. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de măsură . . . . . 135
5.13.1. Noțiuni generale . . . . . 135
5.13.2. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de tensiune . . . . . 142
5.13.3. Măsurarea sarcinii secundare a transformatoarelor de curent . . . . . 147

*Bibliografie* . . . . . 151

*Bun de tipar: 19.12.1969. Coli de tipar: 9,75.*
*C.Z. 621.314.004.1:004.5*

Tiparul executat sub com. nr. 303, la Întreprinderea poligrafică „Crișana" Oradea, str. Moscovei nr. 5.

Lei: 4,50